

Protocole de déconstruction

pour la Région de Bruxelles-Capitale

ANNEXE : Sources de pollution et zones à risque dans le bâti :

Lien entre substances interférentes et contaminants, typologies de bâtiments et éléments de construction

BIJLAGE : Bronnen van verontreiniging en risicogebieden in gebouwen :

Relatie tussen interfererende en verontreinigende stoffen, gebouwtypologieën en bouwelementen

Version initiale : Avril 2022

Mise à jour : Décembre 2025



Réalisé par Buildwise (anciennement le CSTC) et financé par la Région de Bruxelles-Capitale. Ce document ne fait pas partie de la série des publications officielles de Buildwise. En tant que tel, il ne peut être utilisé comme référence. La distribution ou la traduction, même partielle, de ce document n'est autorisée qu'avec l'accord de Buildwise. Le présent document est un résultat de projet généré dans le cadre d'un projet financé par la Région de Bruxelles-Capitale. Par conséquent, il ne constitue pas un document officiel des parties qui l'ont réalisé. Les résultats, analyses et opinions présentés le sont à titre d'information uniquement.

Table des matières

I.	Contexte, objectifs et limites des livrables	3
II.	Matériaux contaminés dans les bâtiments : usages fréquents et facteurs de présence.....	5
1.	Le chrome	5
2.	Le cuivre	7
3.	Le zinc.....	8
4.	Le plomb	10
5	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	13
6	Les polychlorobiphényles (PCB).....	16
7	Les huiles minérales	20
8	Les sulfates.....	22
9	Les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS)	24
10	Les gaz fluorés (F-gaz)	26
III.	Retour d'expérience des chantiers test du protocole.....	30
IV.	Liste de contrôle - zones à risque dans les bâtiments	1
V.	Références.....	5

Abréviations :

DEEE : Déchets d'équipements électriques et électroniques

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

PCB : Polychlorobiphényles

RBC : Région de Bruxelles Capitale

EoW : End of Waste, anglais (ou Sortie du Statut de Déchet)

I. Contexte, objectifs et limites des livrables

Le bâti bruxellois représente une importante source de matériaux pierreux. Cependant, une multitude de substances nocives pour l'homme et/ou l'environnement peuvent être retrouvées dans les granulats recyclés, ce qui compromet leur qualité et nuit à leur utilisation dans des applications de haute qualité. Afin de favoriser le recyclage de granulats en Région de Bruxelles-Capitale (RBC), il est nécessaire de procéder à une déconstruction sélective des bâtiments, en vue de séparer les agents contaminants et perturbateurs du reste de la masse des déchets de construction pierreux. Pour cela, il est indispensable d'identifier les agents contaminants et perturbateurs et d'en tenir compte lors de la déconstruction sélective.

Sur base de l'étude de la qualité des granulats, dont les conclusions sont reprises dans le *Livable A1 : Caractéristiques discriminatoires pour la présence de certains contaminants*, huit polluants ont été identifiés comme étant les plus problématiques pour le recyclage des granulats. Il s'agit du chrome, du cuivre, du zinc, du plomb, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB), de l'huile minérale et des sulfates. Ce sont les polluants pour lesquels des dépassements fréquents par rapport aux critères environnementaux de *sortie du statut de déchet* (EoW) de la RBC ont été identifiés. L'amiante n'a pas été considérée dans ce rapport car il existe déjà un cadre strict pour l'identification et la gestion de l'amiante en RBC.

Mise à jour en 2025 : les 2 polluants suivants ont été rajoutés à ce travail en 2025 :

- les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS), car ces derniers ont été inclus comme critères environnementaux de *sortie du statut de déchet* (EoW) pour les inertes en RBC.
- les gaz fluorés (F-gaz), car ces derniers font l'objet d'une réglementation stricte imposée par l'Europe. Ces derniers ne sont quand à eux pas susceptibles de contaminer les inertes, et ne font pas partie des critères environnementaux d'EoW des inertes en RBC.

Après l'identification des polluants présents dans les granulats recyclés, les questions suivantes se posent :

*Quelles sont les sources des polluants dans le bâtiment ?
Quelles typologies de bâtiments présentent ces matériaux ?*

La présente étude apporte des éléments de réponse à ces questions en établissant une correspondance entre les agents contaminants présents dans les granulats recyclés et la source de ces contaminations dans les bâtiments. En outre, la présence de ces sources de contamination peut être plus ou moins suspectée en fonction de certains facteurs ; la période d'utilisation de substances polluantes, l'année de construction ou de rénovation du bâtiment, la typologie du bâtiment (logements individuels, bâtiments résidentiels collectifs, bâtiments industriels, bâtiments commerciaux, infrastructures), ainsi que la fonction et l'utilisation du bâtiment. Pour les huit contaminants susmentionnés, les facteurs utilisés pour estimer la suspicion de présence de polluants

sont décrits dans le document (*Amélioration de la qualité environnementale des granulats recyclés en Région de Bruxelles Capitale - Livrable B.1 : Rapport sur le lien entre les substances interférentes et les contaminants présents dans les bâtiments, les éléments de construction et les granulats recyclés*). Une double approche a été effectuée, avec un accent sur le type de contamination [1][2] :

- **La contamination primaire**, présente dans les matériaux de construction ou d'équipements. Elle peut provenir des matières premières, du processus de construction ou des traitements réalisés durant l'installation ou la phase d'utilisation. Les contaminants primaires étant liés à l'utilisation de matériaux, il est possible de suspecter leur présence en fonction de la période d'utilisation de ces matériaux, la date de construction et la typologie des bâtiments.
- **La contamination secondaire**, introduite sur ou dans les matériaux de construction par des sources externes. Cela peut être à la suite d'incidents (incendie, fuites, etc), par l'émission ou par la diffusion de contaminants depuis un matériau voisin, ou encore par les activités menées sur ou hors du site ayant un impact sur le bâtiment. La présence de certaines contaminations secondaires peut dès lors être liée à la présence d'autres matériaux, ainsi qu'à la fonction du bâtiment et le type d'utilisation.

En raison de l'hétérogénéité des bâtiments construits à Bruxelles et de l'utilisation fort répandue de certains matériaux et polluants, il est difficile d'établir une liste de caractéristiques à contrôler permettant d'exclure la présence des substances contaminantes. En effet, l'élaboration d'une liste de contrôle « zones à risque par type de bâtiment » (*Amélioration de la qualité environnementale des granulats recyclés en Région de Bruxelles-Capitale - Livrable C.1 : Liste de contrôle – zones à risque par type de bâtiment*) n'a pas été jugée pertinente car la typologie n'est qu'un des multiples facteurs influençant la présence de contaminants. Cependant, un travail a été fait pour répertorier la localisation des matériaux contaminés dans le bâtiment, afin d'établir une liste de contrôle « zones à risque dans le bâtiment » (*Livrable C1, renommée : Liste de contrôle – zones à risque dans le bâtiment*). Cette liste de contrôle permet de cibler et de faciliter l'identification de matériaux potentiellement contaminés grâce à la localisation d'éléments de construction suspectés de contamination par zones.

La présente étude fournit des indications de suspicion de contamination, et permet de faciliter l'identification de matériaux potentiellement contaminés dans les bâtiments. Cependant, pour confirmer ou infirmer ces suspicions, des analyses permettant l'identification et le dosage des polluants sont souvent nécessaires. En outre, le suivi de la liste de contrôle « zones à risque dans le bâtiment » n'est pas suffisant pour établir un inventaire complet des agents contaminants. En effet, il est nécessaire de procéder à une étude historique du bâtiment, ainsi qu'une stratégie d'analyses et de prélèvements non-destructifs et/ou destructifs, en fonction de l'importance de la suspicion de contamination (voir *Amélioration de la qualité environnementale des granulats recyclés en Région de Bruxelles Capitale - Livrable C2 : Procédure générale : identification des contaminants dans les bâtiments*).

II. Matériaux contaminés dans les bâtiments : usages fréquents et facteurs de présence

1. Le chrome

1.1 Généralités

Le chrome est utilisé couramment dans les bâtiments pour des applications de surface (protection des métaux, pigments pour peintures et émaux, protection du bois) ce qui le rend difficilement séparable du matériau sur lequel il est appliqué. Certains ciments sont également riches en chrome, réduisant considérablement les potentialités de recyclage des granulats qui en contiennent [3].

Le chrome métallique et le chrome trivalent (Cr^{3+}) ne sont généralement pas dangereux pour la santé, le chrome hexavalent (Cr^{6+}) est toxique et considéré par le CIRC¹ comme cancérogène certain pour l'homme (Groupe 1) [4].

1.2 Présence dans les bâtiments

1.2.1 Contamination primaire

a) Ciment

Les composés de chrome sont naturellement présents dans les matières premières utilisées pour produire du ciment (roche calcaire, marne et argile). La présence de chrome dans le ciment peut aussi être due à l'utilisation en cimenterie de combustibles alternatifs riches en chrome.

b) Finition et protection de métaux

Le chrome est utilisé couramment pour la finition et la protection des métaux contre la corrosion [5]. En effet, le composé de chrome trivalent est notamment utilisé comme anti-corrosif dans les aciers inoxydables. Ces aciers sont retrouvés dans certains bétons. En outre, l'acier inoxydable est utilisé dans de nombreux domaines et industries : ustensiles de cuisine, objets usuels, médecine, bâtiments et travaux publics, construction navale, automobile, aéronautique, outillage, industries mécaniques, agroalimentaires, chimiques, etc. Le chrome est également utilisé en revêtement de surface de métaux. Les métaux chromés sont fréquemment utilisés dans l'industrie automobile ainsi que pour les meubles et luminaires dans les bâtiments.

c) Pigments

Les sels et oxydes de chrome permettent d'obtenir une large variété de couleurs [6], conduisant à leur utilisation répandue en tant que pigments dans les peintures, émaux et laques, ainsi que dans les céramiques et verres. Les peintures aux pigments chromés ont été employées à Bruxelles par les peintres décorateurs de bâtiments jusqu'aux années 1970, période de l'avènement des peintures synthétiques [7].

d) Produits de préservation du bois

Le bois traité à l'arséniate de cuivre chromaté (ACC ou CCA en anglais) a largement été employé dans tous types de bâtiments de 1934 aux années 2000, particulièrement dans les habitations résidentielles à partir de 1970. Les bois traités à l'ACC peuvent être retrouvés dans un bâtiment au niveau de la charpente, des plafonds, des parquets, des murs, des menuiseries intérieures et extérieures. Le

¹ Centre International de Recherche sur le Cancer

marché de l'ACC fut progressivement contrôlé et limité à certaines applications, par un nombre croissant de pays Européens à partir des années 1990 (directive européenne en 1998 [8] et 2006 [9], Belgique en 2003 [10], France en 1992 [11] et 2003 [12], Finlande en 1995[13], etc.).

La directive européenne 2006/139/CE, transposée par l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 4 septembre 2008 a limité le traitement de bois à l'ACC à l'usage professionnel et industriel et a également interdit l'utilisation de bois traité à l'ACC pour les constructions à usage d'habitation ainsi que pour toute application comportant un risque de contact répété avec la peau [14]. Dès lors, les bâtiments résidentiels ou commerciaux sont suspectés de contamination de bois à l'ACC uniquement s'ils ont été construits ou rénovés entre 1934 et 2008.

L'usage de bois traité à l'ACC est toujours autorisé pour les infrastructures (poteaux de transmission électrique et de télécommunications, traverses de chemin de fer souterrains, écrans acoustiques, ponts et ouvrages d'art, glissières et barrières de sécurité du réseau autoroutier, etc.) ainsi que pour les pieux de clôtures agricoles et les charpentes de bâtiments publics, agricoles et industriels [14].

e) Laitiers et mâchefers

Les granulats de bétons à base de résidus industriels tels que le laitier et les mâchefers présentent souvent des teneurs en métaux lourds plus élevées [15]. Cependant, il faut remarquer que l'encapsulation de substances contaminantes dans le béton limite fortement leur lixiviation. Dès lors, le risque de contamination d'autres substances par lixiviation est limité. Les bétons contenant des mâchefers sont reconnaissables à leur couleur foncée et sont généralement enduits pour des raisons d'esthétisme et de protection vis-à-vis de l'eau. Les bétons à base de laitier ont une couleur plus claire. Les constructions employant des résidus industriels sont suspectées d'être présentes autour des lieux de production de ces résidus (p.ex. industries sidérurgiques, centrales d'incinération). En Belgique, l'emploi des résidus industriels dans le béton est normalisé.

1.2.2 Contamination secondaire

a) Acier chromé dans le béton

La contamination secondaire de chrome dans le béton peut provenir de la migration de composés chromés présents dans les aciers inoxydables au cours du temps et de l'altération de l'élément. Ces aciers inoxydables sont mis en œuvre dans certains types de béton (tels que les bétons susceptibles de contenir des chlorures) [16].

b) Cheminées

Les dépôts de suie riches en métaux lourds peuvent constituer une contamination secondaire en chrome dans les matériaux présents dans une cheminée résidentielle ou industrielle [17].

c) Industries employant du chrome

La contamination secondaire en chrome est suspectée dans les industries employant des composés à base de chrome dans leur processus (métallurgie et sidérurgie, pigments et tannage). Par ailleurs, dans les sites de traitement du bois à l'ACC, ainsi que sur les lieux comportant des bois traités à l'ACC en extérieur (puits, plaines de jeu pour enfants, terrasses, etc.), une contamination secondaire en chrome est suspectée dans le sol et structures souterraines des bâtiments [18].

2. Le cuivre

2.1 Généralités

Le cuivre sous forme métallique est peu toxique pour l'homme et n'est pas considéré comme un polluant. Les composés en cuivre métallique présents dans les bâtiments peuvent être recyclés s'ils sont collectés séparément des autres déchets de construction. Les composés secondaires du cuivre, en revanche, sont classés comme dangereux pour la santé et l'environnement. Fréquemment appliqués sur un autre matériau (métal ou bois) duquel ils sont difficilement séparables, les composés cuivrés peuvent être la cause de la contamination de matériaux de construction. Ces matériaux devront faire l'objet d'une séparation appropriée (ou dépollution) afin d'être valorisés par recyclage ou réemploi [5].

2.2 Présence dans les bâtiments

2.2.1 Contamination primaire

a) Cuivre métallique

Le cuivre est fréquemment utilisé sous forme de tubes en tuyauterie ; gouttières et canalisations d'eau de pluie, conduites d'eau potable, conduites de gaz, chauffage (radiateurs). Il peut être présent dans les toitures et bardages sous forme de feuilles métalliques. En tant que bon conducteur électrique, le cuivre est employé dans les paratonnerres, ainsi que dans les câbles électriques sous forme de fils de cuivre. Certains éléments métalliques des bâtiments (poignées de porte métalliques, robinets, mobilier, tuyauterie etc.) sont constitués d'alliages contenant du cuivre, tels que le laiton ou le bronze.

b) Peintures anticorrosion

Les peintures anticorrosion au cuivre sont utilisées sur les métaux, notamment pour les travaux de soudure et décoration. Cette utilisation est peu fréquente, et encore moins depuis l'emploi intensif des peintures synthétiques depuis les années 1970 [7].

c) Produits de préservation du bois

Le bois traité à l'arséniate de cuivre chromaté (ACC ou CCA en anglais) a largement été employé dans tous types de bâtiments de 1934 aux années 2000, particulièrement dans les habitations résidentielles à partir de 1970. Les bois traités à l'ACC peuvent être retrouvés dans un bâtiment au niveau de la charpente, des plafonds, parquets, murs, menuiseries intérieures et extérieures. Le marché de l'ACC fut progressivement contrôlé et limité à certaines applications, par un nombre croissant de pays européens à partir des années 1990 (directive européenne en 1998 [8] et 2006 [9], Belgique en 2003 [10], France en 1992 [11] et 2003 [12], Finlande en 1995[13], etc.).

La directive européenne 2006/139/CE, transposée par l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 4 septembre 2008 a limité le traitement de bois à l'ACC à l'usage professionnel et industriel et a également interdit l'utilisation de bois traité à l'ACC pour les constructions à usage d'habitation ainsi que pour toute application comportant un risque de contact répété avec la peau [14]. Dès lors, les bâtiments résidentiels ou commerciaux sont suspectés de contamination de bois à l'ACC uniquement s'ils ont été construits ou rénovés entre 1934 et 2008.

L'usage de bois traité à l'ACC est toujours autorisé pour les infrastructures (poteaux de transmission électrique et de télécommunications, traverses de chemin de fer souterrains, écrans acoustiques, ponts et ouvrages d'art, glissières et barrières de sécurité du réseau autoroutier, etc.) ainsi que pour les pieux de clôtures agricoles et les charpentes de bâtiments publics, agricoles et industriels [14].

D'autres produits de préservation du bois contenant du cuivre ont été utilisés dans une moindre mesure, et notamment pour remplacer l'ACC. On peut citer le chromate de cuivre acide, l'arséniate de cuivre ammoniacal (ACA) l'azole de cuivre alcalin (CA), le cuivre alcalin quaternaire (ACQ) et l'azole de cuivre micronisé (MCA), [19] les naphthénates de cuivre, le bis-(N-cyclohexyldiazonium-dioxy) cuivre, le carbonate de cuivre basique [10]. Du à leur faible utilisation dans les bâtiments, leur présence y est très peu suspectée.

d) Laitiers et mâchefers

Les granulats de bétons à base de résidus industriels tels que le laitier et les mâchefers présentent souvent des teneurs en métaux lourds plus élevées [15]. Les bétons contenant des mâchefers sont reconnaissables à leur couleur foncée et sont généralement enduits pour des raisons d'esthétisme et de protection vis-à-vis de l'eau. Les bétons à base de laitier ont une couleur plus claire. Les constructions employant des résidus industriels sont suspectées d'être présentes autour des lieux de production de ces résidus (p. ex industries sidérurgiques, centrales d'incinération). En Belgique, l'emploi des résidus industriels dans le béton est normalisé.

2.2.2 Contamination secondaire

a) Cheminées

Les dépôts de suie peuvent provoquer une contamination secondaire en cuivre dans les matériaux présents dans une cheminée résidentielle ou industrielle [17].

b) Industries employant le cuivre

Les industries produisant ou employant des produits de préservation du bois ou des produits bactéricides contenant du cuivre (tapisseries, pesticides agricoles, etc.) sont susceptibles de provoquer une contamination secondaire en cuivre dans leurs bâtiments. Il en va de même pour les industries employant couramment des peintures à base de cuivre.

3. Le zinc

3.1 Généralités

Sous forme métallique, le zinc est peu toxique pour l'homme et l'environnement et peut être recyclé s'il est collecté séparément. Le zinc est présent dans les bâtiments sous forme de feuilles métalliques ou en tuyauterie. Dans les bâtiments, il est surtout présent comme agent de protection surfacique des métaux ferreux (acier galvanisé).

Les composés du zinc (chlorure de zinc, oxyde de zinc, chromate de zinc, sulfure de zinc, ...) sont utilisés comme pigments, ainsi que comme adjuvants dans les caoutchoucs et polymères. Ces composés peuvent être dangereux pour l'homme et/ou l'environnement et sont difficilement séparables du matériau auquel ils sont combinés.

3.2 Présence dans les bâtiments

3.2.1 Contamination primaire

a) Zinc métallique

Le zinc est utilisé sous forme de feuilles métalliques en toiture et bardage de bâtiments, ainsi que sous forme de tuyauterie pour les descentes d'eaux pluviales et gouttières et conduits de ventilation [5]. En outre, divers objets métalliques en zinc ou alliages de zinc (laiton, maillechort, zamak) peuvent être

retrouvés dans les bâtiments, tels que dans les portes et fenêtres, visserie, ventilation, distribution de gaz, luminaires et décorations [2].

b) Acier galvanisé

Le zinc est également retrouvé dans les applications de toiture et de bardage, en tant qu'agent de galvanisation de l'acier. D'autres domaines d'application de l'acier galvanisé incluent la fabrication d'outillages, les conduits de cheminées, hangars, et portails. L'utilisation d'acier galvanisé dans les canalisations sanitaires a été réduite dans les bâtiments d'habitation individuels, car sa mise en œuvre requiert une attention particulière afin d'éviter des risques de corrosion galvanique [20]. Dans les bâtiments industriels, les canalisations en acier galvanisé sont fréquemment retrouvées pour l'arrosage automatique (sprinklers) ou pour le transport de fluides sous haute pression. L'acier galvanisé est également utilisé pour les ouvrages et infrastructures d'envergure, tels que les ponts et pylônes.

c) Pigments (peintures, laques et céramiques)

L'utilisation de l'oxyde de zinc (ZnO) en tant que pigment pour peinture remonte au milieu du 19^{ème} siècle, lorsqu'il fut proposé comme alternative à la céruse de plomb. Dû à son faible pouvoir couvrant et à son prix élevé, l'oxyde de zinc ne supplanta pas la céruse de plomb [21][22]. En Belgique, l'utilisation du blanc de zinc comme peinture murale ou en décoration intérieure (p. ex faux marbres) est considérée comme conséquente à partir de l'interdiction de l'utilisation de céruse comme peinture d'intérieur en 1926, jusqu'aux années 70, lorsque l'utilisation des peintures synthétiques se généralisa. L'emploi de blanc de zinc sur les murs ou menuiseries extérieurs est moins fréquent qu'en intérieur [7].

Le zinc a également été utilisé dans les vernis et laques pour métaux en vertu de ses propriétés anticorrosives [23][5].

Le pigment d'oxyde de zinc est également utilisé pour augmenter la blancheur des céramiques, qui peuvent être présentes comme revêtement de sols ou de murs intérieurs, ainsi qu'en ameublement de sanitaires.

d) Caoutchoucs et plastiques

Les composés de zinc sont couramment employés dans les caoutchoucs et plastiques comme adjuvants.

Dans les composés en caoutchouc, l'oxyde de zinc joue un rôle d'activateur du processus de vulcanisation. Il est dès lors retrouvé dans les matériaux de construction en caoutchouc et pneus recyclés, tels que les revêtements de toitures, bardages et revêtements de sol [5].

L'oxyde de zinc sert aussi à protéger les caoutchoucs et plastiques contre les effets dommageables des rayons UV. Les matériaux extérieurs en polypropylène (PP) soumis aux intempéries tels que le mobilier extérieur sont particulièrement concernés.

Les composés de zinc (borate de zinc, hydroxystannate et stannate de zinc) sont également utilisés comme retardateurs de flamme principalement dans le PVC [23], qui est employé dans la tuyauterie et l'isolation de câbles électriques.

e) Laitiers et mâchefers

Les granulats de bétons à base de résidus industriels tels que le laitier et les mâchefers présentent souvent des teneurs en métaux lourds plus élevées [15]. Les bétons contenant des mâchefers sont reconnaissables à leur couleur foncée et sont généralement enduits pour des raisons d'esthétisme et de protection vis-à-vis de l'eau. Les bétons à base de laitier ont une couleur plus claire. Les constructions employant des résidus industriels sont suspectées d'être présentes autour des lieux de production de ces résidus (p. ex industries sidérurgiques, centrales d'incinération). En Belgique, l'emploi des résidus industriels dans le béton est normalisé.

3.2.2 Contamination secondaire

a) Cheminées

Les dépôts de suie riches en métaux lourds peuvent constituer une contamination secondaire en zinc dans les matériaux présents dans une cheminée résidentielle ou industrielle [17].

b) Industries employant du zinc

La contamination secondaire en zinc est suspectée dans les industries de production de feuilles de zinc métallique et de galvanisation. Il en va de même pour les entreprises employant les composés à base de zinc dans leur processus, tels que la fabrication de piles, de caoutchouc et pneumatique, de céramique et de pigments.

4. Le plomb

4.1 Généralités

Le plomb est un métal lourd toxique qui pénètre dans l'organisme essentiellement par ingestion et inhalation, la voie digestive étant la plus courante [24]. Il peut avoir des effets chroniques et néfastes chez des personnes de tout âge, mais il est particulièrement nocif pour les enfants, car il endommage notamment le système nerveux. Le saturnisme, maladie causée par l'intoxication au plomb, est reconnu par l'OMS comme un véritable problème de santé public depuis les années 1960 [25].

Les pièces métalliques en plomb ou en alliages de plomb sont présentes dans les toitures ou dans les installations (tuyauterie, isolation acoustique, gaines de câbles électriques, soudures) ainsi que dans les batteries et DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques) [3]. Les composés chimiques contenant du plomb sont utilisés comme pigments et revêtements de protections, ainsi que dans les céramiques [5].

L'utilisation du plomb dans la société et dans les bâtiments a pu décroître au cours du 20^e siècle, grâce à la mise en garde des populations envers la toxicité du plomb, ainsi qu'aux limitations progressives de l'utilisation du plomb dans l'EU notamment dans les domaines de l'essence, de la peinture, des canalisations d'eau potable et des DEEE. Dès lors, les bâtiments construits à partir des années 1990 sont moins à risque de comporter une contamination au plomb que les bâtiments anciens. Cependant, au vu des nombreuses applications du plomb dans la construction et à la partialité de la restriction de son utilisation, aucun bâtiment ne peut être exempt de présenter une telle contamination.

4.2 Présence dans les bâtiments

4.2.1 Contamination primaire

a) Plomb métallique en plomberie, toiture et isolation

Le plomb a été massivement utilisé avant 1945 sous sa forme élémentaire comme canalisations d'eau potable et descentes d'eau pluviales dans les bâtiments. Les canalisations en plomb sont particulièrement fréquentes dans le réseau privé ; tuyaux de raccordement en plomb entre la rue et le compteur d'eau ou réseaux intérieurs en plomb dans les habitations [24]. En outre, la soudure à l'alliage plomb-étain a longtemps été employée pour joindre les tuyaux en cuivre. En Région de Bruxelles-Capitale, un programme de remplacement des raccordements en plomb dans les habitations est en cours depuis 2003, lancé par l'Intercommunale Bruxelloise de Distribution d'Eau (IBDE). Toutefois, les canalisations privatives de distribution situées à l'intérieur du bâtiment en aval du compteur d'eau ne sont pas concernées par cette campagne. Dès lors, il est possible de retrouver des canalisations intérieures de logements contenant du plomb à l'heure actuelle [26], malgré la campagne d'information menée par l'IBDE depuis 2003 auprès des propriétaires des bâtiments en Région de Bruxelles-Capitale [24].

Les pièces métalliques en plomb ou en alliages de plomb ont été utilisées comme matériau de revêtement des toitures (jointures cheminée/toiture, jointures toit/toiture, fenêtres à tabatière, etc.) ainsi que pour l'étanchéité des façades [3]. Leur utilisation dans les habitations modernes est toujours autorisée en Belgique et par l'EU, mais semble décroître au profit de revêtements de toiture alternatives au plomb, ainsi qu'à un changement d'attitude de la part de la population par rapport à l'utilisation du plomb [27].

Les feuilles de plomb sont également employées en isolation acoustique, spécifiquement pour les basses fréquences. Ce type d'isolation peut être présent dans les murs et planchers, notamment dans les bâtiments commerciaux (studios radiophoniques, de TV et d'enregistrement, discothèques et bars) ainsi que dans les locaux de machinerie des ascenseurs ou de chauffage.

b) Pigments

Les composés de plomb ont été utilisés à la fois dans les revêtements de protection de métaux contre la rouille (tel que l'oxyde rouge de plomb, ou « minium de plomb ») [3], ainsi qu'en tant que pigments pour peintures sur de multiples surfaces, au vu de leur bon pouvoir couvrant et leur longue durée de tenue [22].

La céruse (ou « blanc de plomb ») est le pigment blanc le plus utilisé au 19^{ème} siècle. C'est un carbonate de plomb, produit en France de manière industrielle depuis 1809 [22]. Malgré sa toxicité rapidement avérée, il reste en usage même après la commercialisation d'alternatives, d'abord le blanc de zinc au 19^{ème} siècle, puis le blanc de titane au 20^{ème} siècle [21] [22]. L'usage de la céruse comme pigment pour les peintures intérieures a été interdit en Belgique en 1926 (loi du 30 mars 1926, publiée au Moniteur belge le 22 avril 1926) [28]. En outre, à partir de 1977, la présence de plomb et le risque lié au saturnisme ont dû être signalés sur les peintures et vernis dont la teneur totale en plomb était supérieure à 0,5 % en masse (ramenée à 0,15 % en 1993) [29]. Malgré ces réglementations, l'utilisation de peinture au plomb dans les bâtiments est courante en Belgique jusque dans les années 1970, à partir de l'avènement des peintures synthétiques. Il est fréquent de retrouver de la peinture au plomb dans les habitations, sous des couches plus récentes de peintures, rendant nécessaire l'inventaire destructif. Les éléments métalliques et menuiseries intérieurs et extérieurs (boiseries, plinthes,

portes, châssis, rampes d'escaliers et balustres de fenêtres) sont particulièrement suspectés. Plus rarement, les murs eux-mêmes peuvent être recouverts de peinture au plomb, notamment dans les pièces d'eau (cuisine, salle de bains), ainsi que dans les zones sensibles telles qu'au niveau des cheminées réaménagées [7].

Seuls les bâtiments construits après 1990, date à laquelle la peinture au blanc de plomb fut interdite en Belgique (Arrêté royal du 5 novembre 1990, publié au Moniteur belge le 22 novembre 1990) [30], sont exemptés de la suspicion de contamination par la peinture au plomb [29].

c) Batteries, DEEE et installations électriques

Le plomb est largement utilisé pour la fabrication des batteries. Les batteries au plomb, destinées à l'automobile ou à l'industrie, représentent plus de 60% de la consommation de plomb [31]. Dans les anciens bâtiments industriels, commerciaux ou les résidences collectives, il est possible de trouver des batteries au plomb dans les blocs autonomes d'éclairage (source lumineuse de sortie de secours), bien que ces dernières fassent maintenant place à des batteries alternatives sans plomb.

Le plomb est également présent dans de nombreux DEEE, notamment dans les écrans à tube cathodique et en tant que matériau de soudure dans les cartes électroniques et autres éléments des DEEE. Afin d'éviter toute contamination, les batteries et DEEE doivent impérativement faire l'objet d'une collecte sélective suivie d'un recyclage dans une filière dédiée.

Le plomb a aussi été utilisé dans les gaines de câbles électriques. L'isolation des câbles "sous plomb" concerne les anciens câbles, isolés suivant la technologie de l'époque (coton paraffiné, caoutchouc ...) et placés dans un tube de plomb qui était fixé comme les tuyaux d'eau ou de gaz, posés apparents, enterrés, ou inclus dans la maçonnerie. Les revêtements de câbles au plomb sont fréquemment retrouvés dans les anciennes habitations, entre le portail et maison pour la sonnette ou le téléphone. Les habitations récentes utilisent plutôt des alternatives composites polymériques, telles que les revêtements isolés en PVC, qui sont devenus populaires à partir des années 1960. Néanmoins, les câbles gainés de plomb sont encore autorisés dans les habitations. Ils sont couramment utilisés dans les bâtiments industriels actifs dans la pétrochimie, pour protéger l'intérieur des câbles contre les hydrocarbures ou autres produits chimiques.

d) Céramiques et cristal

Le plomb a été utilisé dans l'industrie de la céramique, afin de réduire leur température de cuisson, ainsi que dans la formation des émaux. Les vaisselles ainsi que les carreaux de céramique anciens ou artisanaux sont à risque de contenir du plomb [5].

Le verre de cristal contient également du plomb (jusqu'à 40% en masse). Les éléments en verre de cristal étant pour la plupart facilement séparables des éléments constitutifs des bâtiments, il est peu probable qu'ils soient une source importante de contamination en plomb des bâtiments.

e) Laitiers et mâchefers

Les granulats de bétons à base de résidus industriels tels que le laitier et les mâchefers présentent souvent des teneurs en métaux lourds plus élevées [15]. Les bétons contenant des mâchefers sont reconnaissables à leur couleur foncée et sont généralement enduits pour des raisons d'esthétisme et de protection vis-à-vis de l'eau. Les bétons à base de laitier ont une couleur plus claire. Les constructions employant des résidus industriels sont suspectées d'être présents autour des lieux de

production de ces résidus (p. ex industries sidérurgiques, centrales d'incinération). En Belgique, l'emploi des résidus industriels dans le béton est normalisé.

4.2.2 Contamination secondaire

a) Cheminées

Les dépôts de suie riches en métaux lourds peuvent constituer une contamination secondaire en plomb dans les matériaux présents dans une cheminée résidentielle ou industrielle [17]. Les cheminées dans les industries du charbon, de l'acier, des fonderies et des incinérateurs de déchets sont particulièrement à risque.

b) Huile minérale plombée

Les fuites d'essences plombées, utilisées entre les années 1920 et l'an 2000 (date d'interdiction de la vente d'essence plombée en Belgique, à la suite des directives auto oil 98/69 et 98/70), sont susceptibles d'avoir causé la contamination secondaire en plomb de sol et surfaces souterraines. Ce type de contamination est particulièrement soupçonné dans les stations-services et garages en fonction avant l'an 2000.

c) Industries employant du plomb

La contamination secondaire en plomb est suspectée dans les industries de sidérurgie, de production de grenaille de plomb destinée aux munitions (tours à plomb), de production et de recyclage des batteries et DEEE. Les industries employant le plomb comme pigment (peintures, laques, cosmétiques) sont également suspectées, ainsi que les industries de céramiques et les cristalleries.

5 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

5.1 Généralités

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) forment un groupe de substances organiques constituées de deux ou plusieurs anneaux de benzène. Les HAP sont présents dans le charbon et le pétrole. Ils proviennent aussi du réchauffement en absence d'oxygène de matières organiques telles que les carburants, le bois et le tabac [1].

Les HAP font l'objet d'une attention croissante depuis quelques années, notamment en raison du classement de 15 HAP parmi les « substances cancérogènes avérées, probables ou peut-être cancérogènes ». Le Benzo[a]pyrène (BaP) est cancérogène avéré et considéré comme le plus toxique des HAP [32]. L'absorption des HAP dans l'organisme humain peut se faire par voie respiratoire, par voie cutanée et par voie digestive. Une attention particulière sera prise afin de réduire le risque d'exposition des travailleurs au HAP au cours de la déconstruction, en vue de la protection de leur santé.

Dans les bâtiments, les HAP peuvent se présenter sous la forme d'agents contaminants primaires, tels que produits à base de goudron ou de caoutchoucs, les produits de préservation de bois, et de l'utilisation de laitier de métallurgie comme matière première secondaire dans le bâtiment. Les HAP peuvent également être présents sous forme d'agents contaminants secondaires, suite à un contact direct ou par absorption. Les sources de contamination des HAP dans les bâtiments sont liés à la combustion de matières organiques (dans les cheminées résidentielles ou industrielles ou à la suite

d'un incendie), ainsi qu'à la suite d'une fuite de dérivés de houille ou d'huile minérale contenant des HAP.

Tous types de bâtiments sont susceptibles d'être contaminés en HAP. La période d'utilisation du goudron dans le bâti bruxellois est difficile à évaluer, rendant la contamination primaire en HAP difficile à estimer sur base de la période de construction. On peut supposer que les matériaux goudronnés ont été utilisés dans les habitations depuis 1875 jusqu'aux années 1990 à 2000 en Europe. Ils ont été utilisés encore plus longtemps dans certaines infrastructures routières. Le traitement du bois par la créosote, dans les habitations, n'est plus d'actualité depuis l'an 2003. La contamination secondaire en HAP est notamment fonction de l'usage des bâtiments. Les bâtiments les plus à risque d'une contamination secondaire en HAP sont les bâtiments industriels et les bâtiments présentant une cheminée ou ayant subi un incendie.

5.2 Présence dans les bâtiments

5.2.1 Contamination primaire

a) Produits d'étanchéité goudronnés

Les produits goudronnés et asphaltés, reconnaissables à leur couleur noire et souvent à l'odeur caractéristique du goudron, ont de multiples utilisations dans les bâtiments et sont susceptibles de contenir des HAP. Ils sont employés comme matériau d'isolation (membranes goudronnées, liège goudronné, gaines pour canalisation) ainsi que comme colles, mastics et enduits. Ces usages sont détaillés ci-dessous.

Les produits goudronnés ont fréquemment été utilisés en tant que matériau d'étanchéité à l'eau et d'isolation thermique et acoustique. Les couches goudronnées ou membranes de goudron bitumineux peuvent être retrouvées en sous-couche, sous le plancher, comme chape de sol, dans les murs extérieurs, sur les murs intérieurs, dans les plafonds et dans les toitures [1][33]. Les matériaux d'isolation thermique et acoustique à base de matériaux organiques avec une colle bitumineuse sont également considérés comme des matériaux susceptibles de contenir des HAP. Le liège goudronné (ou liège aggloméré), constitué de morceaux de liège collés par un liant goudronné, peut être présent dans zones en contact avec le sol, murs et plafonds, notamment dans les pièces humides (p. ex. les chambres froides), ainsi qu'en enveloppe de tuyaux. Les textiles traités au brai de goudron ont pu être utilisés comme gaines pour canalisation [34], et les câbles électriques souterrains peuvent être revêtus d'un revêtement goudronné, ou isolés par une gaine polymérique contenant des HAP [35].

Les HAP sont également présents dans les colles, mastics et les enduits contenant du goudron. Les colles sont utilisées par exemple dans les colles de parquet ou d'autres revêtements de sol, ainsi que pour coller des matériaux d'isolation (tels que le liège goudronné). Les joints et mastics en caoutchouc peuvent être retrouvés dans toutes les parties du bâtiment : entre les éléments muraux préfabriqués, entre les bâtiments, entre le mur extérieur et intérieur, entre des panneaux en béton, entre le mur et les éléments tels que les portes et fenêtres, dans le parachèvement de sol, etc. Les peintures d'étanchéité (enduits) sont retrouvées sur les murs intérieurs, ainsi que sur la dalle de sol [34].

La période d'utilisation du goudron dans le bâti bruxellois est difficile à déterminer. On peut estimer que les matériaux goudronnés ont été utilisés dans les habitations depuis 1875 jusqu'aux années 1990 à 2000 en Europe [13][34][36].

b) Revêtements de sol goudronnés :

L'utilisation du goudron en technique routière s'est généralisée dans la première moitié du 20^{ème} siècle et a décliné au profit du bitume à partir de 1945 [37]. Les goudrons sont suspectés de se trouver dans les anciennes infrastructures routières, notamment sous plusieurs couches de bitume. La présence de goudron est fortement suspectée dans les infrastructures routières nécessitant une résistance aux solvants pétroliers (carburants et huiles), notamment dans les parkings, dans les stations-services, ainsi que dans les aires de stationnement et de ravitaillement d'avions. Dans différents pays européens, l'utilisation du goudron a été interdite en technique routière à partir des années 2000². Les bitumes modifiés appelés "anti-K" (anti-Kérosène) ont notamment été développés pour les applications en contact avec les solvants pétroliers afin de pallier l'interdiction du goudron.

c) Produits à base de caoutchouc :

Les HAP d'origine fossile rentrent également dans la composition des huiles de dilution, qui sont mélangées aux caoutchoucs utilisés dans la fabrication des pneus, par exemple. Les tuiles à base de caoutchouc ou de pneus recyclés sont employés en toiture ou comme parachèvement de mur, ainsi que comme couverture de sol, notamment sur les terrains de jeux pour enfants, ainsi qu'au pourtour de piscines. Les granulats de pneus recyclés sont utilisés dans les terrains de sport synthétiques.

d) Produits de préservation du bois :

La créosote de goudron de houille, brevetée en 1838 en tant que produit de préservation du bois, a été fortement utilisée au 20^{ème} siècle notamment pour les traverses de chemin de fer, les poteaux en bois utilisés pour la distribution de l'électricité ou des câbles de télécommunication, et les pieux de clôtures agricoles et industrielles. Ce produit et ses dérivés (dont le carbolineum, un mélange de créosote et de goudron de houille) sont encore largement utilisés aujourd'hui. Depuis 2003, la vente de créosote dans l'Union Européenne est soumise à autorisation et limitée aux utilisateurs professionnels [38]. La présence de poutres et bois traités à la créosote dans les habitations individuelles ou collectives construites ou rénovées avant 2003 est possible bien que peu probable, à cause de l'odeur forte qui émane de ce produit.

e) Dans les résidus industriels

Le laitier, pouvant être présent dans le lestage des toitures plates ainsi que dans le remplissage des planchers surélevés, est susceptible de contenir des HAP. Depuis la fin du 19^{ème} siècle, le laitier a également été employé dans la fabrication du béton. En Belgique, l'emploi des résidus industriels dans le béton est normalisé.

5.2.2 Contamination secondaire

a) Par dépôt de combustion/suie

La principale source de contamination de HAP dans les agrégats de gravats de béton et de maçonnerie a été identifiée comme provenant principalement des cheminées [2]. Le risque de contamination de HAP est d'autant plus accru dans les cheminées d'incinérateurs ou industrielles employant des combustibles riches en HAP (pneus, huiles minérales usagées, charbon, ...) tel que dans les cimenteries et centrales électriques à charbon.

En outre, tout bâtiment ayant subi un incendie, ou dans son voisinage, est hautement susceptible d'une contamination de HAP par dépôts de suie. Les portions de bâtiments fortement exposées aux

² 2001 en France [37], 2003 aux Pays-Bas [36].

gaz d'échappement d'automobiles, tels que les murs extérieurs à proximité de voiries, sont également susceptible de contamination par les HAP. Il en va de même pour les dépôts de suie de la combustion de déchets agricoles, des incendies de végétation, de fumée de tabac.

b) Suite à un contact direct ou par absorption

Les HAP peuvent être présents dans les huiles minérales peu raffinées, notamment employées en usinage jusque dans les années 1970, ainsi que dans les huiles minérales usagées, ayant subi un échauffement, telles que les huiles de vidange de moteur et les huiles régénérées [32]. Tout résidu ou fuite d'huile minérale de ce type est susceptible de provoquer une contamination secondaire en HAP. Cela est suspecté dans le sol et les structures souterraines d'industries d'usinage en fonctionnement avant les années 1970, de tous les garages, ainsi que dans les industries utilisant ou produisant des huiles minérales (raffinerie pétrolière, etc.)[39]. Il en va de même pour les bâtiments industriels produisant ou employant des produits dérivés de la houille (cokerie, aciérie, imprégnation de bois à la créosote, etc.). Les niveaux d'HAP sont beaucoup plus faibles dans les secteurs utilisant des produits dérivés du pétrole tels que la fabrication de pneus, les industries pétrochimiques et industries du goudron, et la mécanique avec l'utilisation d'huiles et de graisses. Ces industries sont dès lors moins soupçonnées de comporter une contamination secondaire en HAP.

La contamination secondaire en HAP peut être soupçonnée dans un matériau au contact de couches adjacentes contaminées en HAP. En effet, la diffusion des HAP d'un revêtement goudronné dans un béton adjacent a été observée.

6 Les polychlorobiphényles (PCB)

6.1 Généralités

Les polychlorobiphényles (PCB) sont un groupe d'hydrocarbures possédant un large domaine d'application. Ils sont en effet bon marché et présentent une bonne isolation électrique et thermique [1]. La production industrielle des PCB a débuté en Europe en 1930 (Allemagne) et s'est répandue dans l'ensemble de l'Europe après la deuxième guerre mondiale. L'utilisation de PCB est fortement suspectée dans les bâtiments construits ou rénovés à partir de 1950 [2].

Les PCB ont majoritairement été utilisés dans des applications « fermées », comme liquide de refroidissement et d'isolation dans les transformateurs et condensateurs et en tant que fluides hydrauliques et caloporteurs [40]. Dans ces applications, les PCB ne sont pas en contact avec l'air. Les PCB ont aussi couramment été employés dans des applications « ouvertes », par exemple dans les produits d'étanchéité, adhésifs, peintures et laques, revêtements de surface, isolation des câbles, huile de coupe, etc. [3]. Dans ces applications, les PCB peuvent rentrer en contact avec l'air, ce qui permet leur dispersion dans l'environnement et influence notamment la teneur en PCB de l'air intérieur [40].

Outre cette contamination primaire « fermée » ou « ouverte », une contamination secondaire de PCB dans un matériau peut survenir, soit par libération chronique depuis une application ouverte, ou suite à l'ouverture/le bris d'une application fermée. Dans le domaine industriel et mécanique, la contamination secondaire en PCB peut également provenir de leur utilisation en système ouvert [3].

Les PCB ont des effets à long terme dommageables pour la santé humaine et sont classés comme cancérogènes pour l'homme (Groupe 1) par le CIRC. Ils peuvent pénétrer dans l'organisme par inhalation, contact cutané ou ingestion. En outre, lorsque portés à haute température, les PCB provoquent la formation et l'émission de dioxines et de furanes, hautement toxiques [3]. En raison de leur persistance, de leur bioaccumulation et de leur toxicité, les PCB sont inclus dans la Convention de Stockholm (PNUE, 2009)[41].

Au vu des préoccupations concernant l'impact environnemental des PCB, leur utilisation dans les applications ouvertes a été fortement réduite dans l'EU à partir de 1976, pour devenir nulle en 1986. Avec la directive 76/769/CEE concernant la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses, la Communauté européenne a limité la mise sur le marché des PCB avec interdiction de les utiliser si la concentration est supérieure à 100 ppm sauf pour certaines applications fermées. On peut dès lors considérer en Belgique que les bâtiments construits après cette date ne contiennent pas de contamination primaire de PCB de type application ouverte. Les applications fermées ont été visées quelques années plus tard par la directive 85/467/CEE [42], transcrite en Belgique par l'arrêté royal du 9 juillet 1986, interdisant la fabrication, l'importation et l'exportation, la vente, la cession de PCB ou tout appareil contenant des PCB, toutes applications confondues.

L'usage des produits et appareils contenant des PCB reste autorisé jusqu'à leur élimination ou leur fin de vie, à l'exception des applications fermées, pour lesquelles le cadre juridique établi au début des années 90 en Belgique décrit la stratégie d'inventorisation et de destruction. La directive européenne de 1996 (CEE-1996/59) requiert l'inventorisation et l'élimination des appareils contenant des volumes de PCB supérieurs à 5 dm³ (équivalent à environ 7.5kg), et ce au plus tard à la fin de 2010. Cette directive fût transposée en 1999 par la Région de Bruxelles-Capitale (arrêté du 4 mars 1999 relatif à la planification de l'élimination des PCB ainsi que l'arrêté ministériel du 20 décembre 1999 établissant un plan régional d'élimination et de décontamination des PCB/PCT) [24]. Ce plan prévoit l'inventorisation de tous appareils contenant plus de 1dm³ (équivalent à environ 1.5kg) de PCB, ainsi que leur mise hors service au plus tard en 2005, ou en 2010 si dérogation. Les appareils contenant entre 0,005 % et 0,05 % de PCB en poids, doivent également faire l'objet d'un inventaire, et peuvent être éliminés en fin de vie. Tout autre appareil contenant des PCB sera éliminé en fin de vie sans inventorisation nécessaire [43][24]. Cette législation réduit fortement la présence d'applications fermées d'importants volumes de PCB dans les bâtiments.

En outre, il est rare de trouver des applications ouvertes de PCB dans les bâtiments, entre autres au vu de la longévité limitée des applications ouvertes et au fait que les PCB ne sont plus utilisés dans ce type d'applications depuis 1976 [24].

6.2 Présence dans les bâtiments

6.2.1 Contamination primaire

a) Condensateurs

Les PCB ont été employés comme substitut ininflammable à l'huile minérale pour refroidir et isoler les condensateurs (application fermée) [44]. Les condensateurs peuvent être classés en trois typologies, en fonction de leur contenu en PCB et leur usage. Chaque typologie est suspectée d'être retrouvée dans des bâtiments ou infrastructures différentes.

- Les condensateurs à contrôle de facteur de puissance sont de grands condensateurs, contenant plus de 1,4 kg de PCB liquide. Ils sont présents dans les systèmes de distribution électrique, notamment dans les usines (aluminium, cuivre, fer, acier, ciment, industrie chimique et pétrochimique et raffineries), bureaux, écoles, hôpitaux, magasins, chemins de fer et installations militaires. Ces condensateurs sont généralement situés à l'intérieur des bâtiments, proches des unités de fourniture de courant ou autres installations techniques [40][45]. Au vu de la législation stricte sur les PCB³, la plupart⁴ de ce type de condensateur est estimée avoir été éliminée au plus tard en 2010. Ils sont donc peu suspectés d'être retrouvés dans les bâtiments.
- Les condensateurs de démarrage de moteur sont des petits condensateurs, contenant généralement moins d'1.4 kg de PCB liquide. Ces condensateurs peuvent se trouver dans des appareils électriques tels que les appareils électroménagers, pompes, installations de séchage et ventilation, machines-outils, moteurs industriels, interrupteurs, etc. [40][45]. Dû à la durée de vie limitée des appareils contenant ce type de condensateurs, leur présence est peu suspectée dans les habitations.
- Les plus petits condensateurs, contenant moins de 0.1kg de PCB sont employés dans les ballasts pour l'éclairage. Ils sont associés à l'éclairage fluorescent (TL), aux lampes à vapeur de mercure et de sodium, aux néons et à l'éclairage public [40] [45]. En 1999, ce type de condensateur a été identifié comme représentant la majorité des condensateurs encore présents en Région de Bruxelles-Capitale [24]

Les condensateurs sont difficiles à localiser dans les bâtiments, dû à leur aspect de boîtes ordinaires. Ils peuvent être éloignés des salles de distribution, ou trouvés sur des objets individuels à l'intérieur d'un bâtiment [45]. Le matériau constituant la boîte du condensateur peut cependant fournir une information quant à sa contamination en PCB ; les condensateurs dans une boîte en aluminium sont suspectés de contenir des PCB, ce qui n'est pas le cas des condensateurs dans des boîtes en plastique [40]. En Belgique, la présence de PCB est suspectée dans les condensateurs produits entre 1930 et 1986. L'inventorisation obligatoire de certains condensateurs contaminés en PCB⁵ peut être utile à leur identification dans les bâtiments [43] [24].

b) Transformateurs

Les PCB ont également été employés dans les transformateurs (application fermée), pour leurs qualités d'isolation électrique et thermique.

La plupart des transformateurs sont trouvés dans les bâtiments de génération, transformation ou distribution de courant électrique. Les huiles contenant des PCB sont spécifiquement utilisées là où les transformateurs nécessitent une résistance aux incendies, tel qu'à l'intérieur de bâtiments et dans des centrales nucléaires. Les transformateurs sont également retrouvés dans les circuits de communication, ainsi que dans les industries qui génèrent de l'électricité à titre privé, telles que les installations militaires, aciéries, usines de fabrication et d'assemblage et chemins de fer. Les bâtiments résidentiels et commerciaux ne contiennent pas de transformateurs [45].

³ Arrêté du 4 mars 1999 relatif à la planification de l'élimination des PCB et arrêté ministériel du 20 décembre 1999 établissant un plan régional d'élimination et de décontamination des PCB/PCT

⁴ Condensateurs contenant plus de 1dm³ de PCB

⁵ Condensateur contenant entre 0,005 % et 0,05 % de PCB en poids

c) Câbles et composants électriques

Les PCB ont été employés dans l'isolation des câbles et composants électriques, en raison de leur résistance à la chaleur et au feu. Certains câbles peuvent être peints avec une couche de peinture intumescence, contenant des PCB. Les PCB peuvent également avoir été ajoutés à l'ensemble du matériau isolant, tels que dans les gaines de câbles ou d'éléments électriques en PVC souple [44].

Certains câbles, notamment dans les centrales et lignes électriques, peuvent contenir de l'huile de PCB ; ils sont remplis de pétrole. Malgré le fait que les PCB soient encapsulés dans les câbles, les fuites sont fréquentes [40].

d) Mastic d'étanchéité et adhésifs

Les PCB ont été utilisés dans les applications ouvertes telles que les mastics d'étanchéité (contenant jusqu'à 50% en masse de PCB [40]) et adhésifs en Europe entre 1950 et 1978 [2].

L'application principale des mastics d'étanchéité au PCB a été entre les panneaux de béton des bâtiments et infrastructures (ponts, etc.). Dans les bâtiments, ces mastics peuvent être retrouvés au niveau du parachèvement de sol, entre les éléments préfabriqués des murs extérieurs ainsi que dans les piscines [1]. Les joints d'étanchéité en caoutchouc contenant du PCB ont également été appliqués entre les mur et les portes et fenêtres, ainsi que dans les fenêtres à double vitrage scellées. La durée de vie de ce type de joint est longue, jusqu'à 50 ans, ce qui rend encore possible de les retrouver actuellement dans les bâtiments construits ou rénovés entre 1950 et 1978 [40].

Les PCB ont été employés comme plastifiants dans les adhésifs. Ils peuvent être retrouvés dans certains revêtements imperméables de murs, ainsi que dans les colles pour revêtements de sol (moquettes, linoléum, ciment-colle pour les carreaux de céramique ou d'ardoise) ou colles d'assemblage des moulures et des panneaux muraux [40].

e) Peintures

les PCB ont couramment servi d'anti-corrosifs dans la formulation des peintures et vernis entre 1950 et 1984 [2]. Ces peintures ont été employées notamment pour le parachèvement de murs extérieurs et de plafonds, ainsi que pour les éléments métalliques tels que la tuyauterie.

Les applications de peintures aux PCB se sont développées dans de multiples industries et infrastructures nécessitant des revêtements résistants. C'est le cas de hangars d'avions, wagons de chemins de fer, ponts en acier, centrales nucléaires, silos agricoles et granges [40].

f) Revêtement de sol

Les PCB ont été employés, entre 1950 et 1978, dans les application ouvertes dans les revêtements de sol [2].

L'application la plus fréquente de PCB dans les revêtements de sol est celle d'agent plastifiant dans les résines synthétiques. Ces dernières étaient fréquemment employées pour les revêtements de sol antidérapants (en particulier le sol dit « akrydur ») dans l'industrie, notamment dans l'industrie alimentaire et les abattoirs, et éventuellement aussi dans les hôpitaux et les cantines. Certain bétons, employés en revêtement de sol (chape) ou comme masse autonivelante sous d'autre revêtements, contiennent des PCB en tant qu'adjuvant superplastifiant. On trouve également des revêtements de sol en PVC contenant des PCB, employés pour leur qualités ignifuges [40].

6.2.2 Contamination secondaire

a) Par diffusion, évaporation ou absorption de PCB issus d'une application fermée ou ouverte

La contamination secondaire en PCB peut survenir à la suite d'une diffusion, d'une évaporation ou d'une absorption de PCB dans un autre matériau [1], suite à l'ouverture/le bris d'une application fermée ou par la libération chronique de PCB depuis une application ouverte. Cela signifie que dans les matériaux voisins aux contaminant primaires en PCB, la présence en PCB doit être la présence doit être vérifiée. Il est avéré que les composés de PCB présents dans les produits d'étanchéité peuvent contaminer les matériaux de construction environnants, davantage dans le béton léger poreux et moins dans les briques et le bois [13]. En outre, étant donné que les PCB ont une faible volatilité, les applications ouvertes sont une source durable de PCB, qui maintiennent des concentrations élevées à l'intérieur des bâtiments pendant des décennies [40].

b) Suite à l'utilisation de PCB dans le milieu industriel

Dans le domaine industriel et mécanique, la contamination secondaire en PCB peut également provenir de leur utilisation. Les PCB sont notamment employés en tant qu'adjuvant dans les produits phytosanitaires et les huiles de coupe ou de moteur [3][42][45]. Les huiles hydrauliques contenant des PCB ont été employées dans des industries installations spécifiques, notamment pour leurs qualités ignifuges. Elles ont été principalement utilisées dans l'industrie minière, mais également dans l'industrie de l'aluminium, du cuivre, du fer et de l'acier, ainsi que dans les chantiers navals, les fonderies et les applications militaires. La plupart des mines d'Europe occidentale ont cessé d'utiliser les huiles de PCB vers 1975 [40].

7 Les huiles minérales

7.1 Généralités

Ce qui est appelé « huile minérale » comprend le fioul léger ou lourd, le kérosène et autres combustibles d'origine minérale qui sont liquides dans des conditions standard de température et de pression. Ces huiles proviennent essentiellement de la distillation du pétrole, mais également à partir de la houille ou de certains schistes bitumineux. Elles ne sont pas biodégradables et sont nocives pour l'environnement, en particulier pour les milieux aquatiques où elles se bioaccumulent. Les huiles minérales contiennent certains composants potentiellement cancérogènes et mutagènes, mais il subsiste des incertitudes quant à leur toxicité.

Les huiles minérales ne sont pas initialement présentes dans les matériaux de construction classiques. Cependant, elles sont retrouvées dans de nombreuses machines ou installations techniques comme fluide de refroidissement ou thermique non conducteur, ou comme fluide hydraulique. Elles sont employées également comme carburant, lubrifiant ou comme fluide de coupe. En plus petites quantités, elles sont présentes dans les produits cosmétiques. En tant qu'agents contaminants secondaires, on les retrouve surtout aux endroits où elles ont été soit stockées (suite à la fuite d'un réservoir) soit utilisées à des fins techniques.

La mesure de la teneur en huiles minérales en Région de Bruxelles-Capitale repose sur la quantification des hydrocarbures de fraction C10 à C40. Cependant, on retrouve des hydrocarbures de fraction C10 à C40 de manière intrinsèque dans les granulats hydrocarbonés (revêtements de routes ou de parkings), sans qu'il s'agisse d'une contamination en huile minérale.

7.2 Présence dans les bâtiments

7.2.1 Contamination primaire

a) Condensateurs et transformateurs

Les huiles minérales ont été employées et sont encore employées comme fluide diélectrique dans les condensateurs et transformateurs. A partir des années 1930, elles ont été partiellement remplacées par les PCB, dont l'emploi a été interdit en 1986 en Belgique. Depuis, les huiles de substitution (huiles synthétique, huiles de silicone), plus onéreuses, ont été développées pour servir de remplacement aux PCB, et sont principalement employées dans les cas appareils à risque élevé d'incendie, tels que les transformateurs de puissance dans les infrastructures électriques à haute-tension.

La plupart des transformateurs sont trouvés dans les bâtiments de génération, transformation et distribution de courant électrique. Les transformateurs sont également retrouvés dans les circuits de communication, ainsi que dans les industries qui génèrent de l'électricité à titre privé, telles que les installations militaires, aciéries, usines de fabrication et d'assemblage et chemins de fer. Les bâtiments résidentiels et commerciaux ne contiennent pas de transformateurs [45].

Les condensateurs peuvent être retrouvés dans différents types de bâtiments. On observe un lien entre la taille des condensateurs et la typologie de bâtiments. Les grands condensateurs, appelés condensateurs à contrôle de facteur de puissance sont présents dans les systèmes de distribution électrique, dans les usines, bureaux, écoles, hôpitaux, magasins, chemins de fer et installations militaires. Ces condensateurs sont généralement situés à l'intérieur des bâtiments, proches des unités de fourniture de courant ou autres installations techniques. Les plus petits condensateurs peuvent être retrouvés dans tous type de bâtiment. Les condensateurs de démarrage sont présents dans les appareils électriques tels que les appareils électroménagers, pompes, installations de séchage et ventilation, machines-outils, moteurs industriels, interrupteurs, etc. Les plus petits condensateurs sont utilisés dans les ballasts pour l'éclairage [40] [45]

b) Câbles et autres installations techniques

L'huile minérale est utilisée dans diverses applications industrielles et mécaniques comme fluide de refroidissement ou dans les composants électriques comme fluide thermique non conducteur.

En plus des transformateurs et condensateurs, l'huile minérale peut être retrouvée dans les câbles électriques. Il s'agit de câbles à haute tension, ou de câbles employés dans des zones présentant des obstacles d'eau (mer, centrales hydroélectriques souterraines, sous-stations électriques). Les huiles minérales sont de plus en plus remplacées par les alkylates dans les câbles.

L'huile minérale est également utilisée comme fluide hydraulique dans les machines et véhicules hydrauliques. En outre, les appareils de chauffage électrique contiennent parfois l'huile minérale. Dans les installations techniques, il est également possible de retrouver des réservoirs d'huile.

7.2.2 Contamination secondaire

a) Fuites liées à l'utilisation ou au stockage d'huiles minérales

Les huiles minérales sont principalement retrouvées en tant qu'agents contaminants secondaires, aux endroits où elles ont été soit employées, soit stockées. La contamination en huiles minérales peut provenir suite à certains incidents ou accidents, liées à des fuites d'appareils fonctionnant aux huiles minérales ou à des fuites de réservoirs. Les zones touchées dans le bâtiment sont principalement les

fondation et sous couches, surfaces durcies, planchers et parachèvement du sol, mais il peut aussi s'agir de contamination de plafonds (infiltration du plancher supérieur) ou murs. Les huiles minérales migrent également dans la structure du béton, qu'elles dégradent avec le temps.

Les bâtiments industriels et commerciaux, ainsi que toute installation technique contenant un contaminant primaire ou un stock d'huiles minérales (câbles, transformateurs, réservoirs etc.) sont particulièrement suspectés. On peut notamment citer les industries pétrochimiques, cosmétiques, textiles ainsi que les installations électriques.

Les huiles minérales sont également employées comme combustibles. Leur contamination secondaire est fortement suspectée dans les bâtiments industriels et commerciaux, tels que les stations-services et garages. Cette suspicion est également présente dans les bâtiments résidentiels, au niveau des garages et cuves à combustible.

8 Les sulfates

8.1 Généralités

Les sulfates sont des sels d'acide sulfurique. Ils contiennent l'ion sulfate (SO_4^{2-}). Dans les bâtiments, les sulfates sont retrouvés comme contaminants primaires dans les matériaux à base de gypse, tels que le plâtre, et en moindre mesure, le béton cellulaire. Les briques peuvent également contenir des sulfates, du à leur processus de fabrication. La contamination secondaire en sulfates est peu présente dans les bâtiments, et est suspectée uniquement dans les industries employant des produits sulfatés.

Les sulfates sont présents naturellement dans l'environnement. Hautement solubles, ils sont trouvés dans la quasi-totalité des eaux naturelles, suite à l'oxydation de roches sulfatées (schistes, minerais de sulfites, etc.). Les sulfates ne sont ni dangereux pour l'environnement ni pour la santé humaine, sauf à forte dose. Des fortes concentrations de sulfates dans l'environnement sont notamment dues aux activités anthropiques telles que l'épandage d'engrais et le rejet d'eaux usées industrielles. La concentration en sulfates solubles dans l'eau de surface, l'eau potable et dans les rejets d'eau est dès lors réglementée. L'Arrêté Royal du 4 novembre 1987 fixant les normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires indique la limite de 150 mg/l SO_4 [46]. En outre, le mélange de matériaux sulfatés avec des déchets biodégradables peut conduire à la formation de sulfure d'hydrogène (H_2S), un gaz malodorant, corrosif et toxique. C'est pour cela que les éléments contenant des sulfates sont soumis à des règles spécifiques pour la mise en décharge.

Dans les granulats recyclés, la teneur en sulfates solubles est limitée pour des raisons techniques. En effet, en présence d'eau, les sulfates et le ciment peuvent réagir pour former de l'ettringite. Cette cristallisation s'accompagne d'une expansion importante, risquant d'entraîner la (micro)fissuration du béton et remettant en cause sa durabilité [47]. La norme EN 206 spécifie la valeur limite de 0,2 % (en poids) en sulfates soluble dans l'eau dans les granulats grossiers recyclés, pour se prémunir du risque géotechnique [48]. Cependant, les conclusions d'études récentes indiquent qu'un niveau plus élevé, jusqu'à 0,3%, ne poserait pas préjudice à la durabilité de la structure [49]. Tandis que la norme NBN B 15-001:2018, employée en Belgique, indique une limite en sulfates solubles identique à la norme EN 206, les pays limitrophes ne font pas de même, employant des limites moins strictes et différenciées en fonction des types de granulats (France, Pays-Bas) [50]. En outre, certains auteurs discutent que la problématique des sulfates dépendrait de l'utilisation prévue des matériaux [36].

Le relargage des sulfates solubles à partir des granulats recyclés vers l'environnement n'a pas été prouvé être une problématique pertinente dans une optique de préservation de la ressource en eau. Cependant, il faut noter que la porosité des granulats recyclés étant supérieure à celle des granulats naturels, la pénétration d'eau y est facilitée, ce qui augmente le risque de relargage de sulfates solubles dans l'eau. Une étude sur l'évolution des concentrations de sulfates relarguées par les granulats recyclés en fonction du temps, dans des conditions météorologiques représentatives, serait utile pour clarifier l'issue de la pertinence de la pollution sulfatée en eau liée à l'utilisation de granulats recyclés.

En Région de Bruxelles-Capitale, il n'est pas prévu que la concentration en sulfates solubles soit un des paramètres devant être analysé dans le cadre du contrôle de la qualité des granulats recyclés. En effet, le paramètre des sulfates n'est pas inclus dans les Normes d'Intervention pour le sol et eaux souterraines [51]. Il en va de même pour la Région flamande. En Région wallonne, ce paramètre est quant à lui inclus dans l'AGW du 28/02/2019 (article 25, entré en vigueur le 01/07/2021) établissant la procédure de sortie de statut de déchet des granulats recyclés. La limite de concentration en sulfates solubles y est fixée à 1000 mg/l, une limite controversée par le secteur, due au constat du dépassement fréquent de cette limite pour les graves de préscalpage mixtes. En effet, les flux ne répondant pas aux critères de sortie du statut de déchet de l'AGW resteront des déchets et ne pourront pas être valorisés. Il n'existera pour eux aucun exutoire actuellement (du moins à des coûts non prohibitifs), et ce malgré que le recyclage des déchets de démolition soit obligatoire [50]. Pour contourner cette impasse, un premier projet de modification du texte a été adopté par le cabinet afin de postposer la mise en œuvre de la norme en sulfates pour une durée de 2 ans (Groupe de Travail « Sulfates », en vue de l'AGW de la Sortie du statut de déchet des granulats recyclés, juillet 2021).

8.2 Présence dans les bâtiments

8.2.1 Contamination primaire

a) Produits à base de gypse

Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), une roche contenant intrinsèquement des sulfates, est employé dans le processus industriel de fabrication du plâtre. Les éléments de construction qui contiennent du plâtre sont employés dans les finitions intérieures. Il s'agit des enduits de plâtre et plaques de plâtre (cloisons sèches), utilisées pour les plafonds et les murs intérieurs. Les cloisons en carreau (ou briques) de plâtre sont parfois également mises en œuvre.

Les produits en plâtre semblent être les contaminants sulfatés les plus pertinents. En effet, outre leur composition riche en sulfates, ils sont présents dans la quasi-totalité des habitations. En effet, ces matériaux ont été employés et sont toujours employés de manière importante dans les bâtiments. Les cloisons sèches en plaques de plâtre sont d'ailleurs devenues le choix populaire pour la construction de cloisons intérieures après les années 1950. En outre, étant difficilement séparables des éléments en béton (par ex. les enduits au plâtre doivent être décapés des murs), les éléments en plâtre sont souvent retrouvés comme contaminants dans les granulats recyclés. Le tri du plâtre semble en effet être un paramètre clef permettant de réduire la concentration en sulfates solubles dans les granulats recyclés (Groupe de Travail « Sulfates », en vue de l'AGW de la Sortie du statut de déchet des granulats recyclés, juillet 2021).

b) Béton cellulaire

Le gypse intervient dans la composition du béton cellulaire (de l'ordre de 1% en masse). Ce dernier est donc source d'une contamination en sulfates, mais d'un ordre minime relativement à l'ampleur de la contamination liée au plâtre. Le béton cellulaire est utilisé en construction pour des travaux de murs (porteur ou non), cloisons ou plafonds, en intérieur comme à l'extérieur. On l'emploie également pour des travaux divers d'aménagement ou de finitions (ex. plans de travail de cuisine), ou même pour l'isolation (ex. isolation par l'extérieur, rénovation). Ce type de béton a été élaboré au cours des années 1920 et 1930 et a fortement été utilisé en Belgique à partir de 1945 [52]. Les briques de béton cellulaire sont souvent retrouvées comme contaminants dans les gravats, mais peuvent en être séparées, au cours du processus de recyclage, dans une étape de séparation physique prenant avantage de la différence densimétrique des granulats et du béton cellulaire.

c) Briques

Certaines briques contiennent des sulfates, du à leur processus de fabrication. En Flandre, suite aux mesures de réduction des émissions diffuses, les émissions de sulfates des briqueteries auraient été concentrées dans les briques et non dans les fumées. En résulte une augmentation de la teneur en sulfates dans les briques. Cependant, la concentration de sulfates dans les briques reste encore à comparer avec celle dans les produits à base de plâtre afin de définir si cette contamination est pertinente ou non dans le cadre de la qualité des granulats.

8.2.2 Contamination secondaire

La contamination secondaire en sulfates est peu présente dans les bâtiments. Etant hautement solubles, ces éléments sont susceptibles d'être lessivés hors des matériaux plutôt que d'y stagner. La contamination secondaire en sulfates est suspectée uniquement dans les industries employant ou stockant des produits sulfatés (bâtiments industriels, bâtiments agricoles).

9 Les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS)

9.1 Généralités

Les PFAS regroupent une large famille de plus de 10 000 composés chimiques synthétiques contenant du fluor.

Ils ont été utilisés à grande échelle depuis les années 1950 dans des procédés industriels et des produits de consommation courante. Appréciables pour leurs propriétés hydrophobes et oléophobes, leur résistance à la chaleur et leur stabilité chimique, on les retrouve dans les revêtements, mousses anti-incendie, produits de traitement de surface et matériaux de finition. Les industries concernées sont la chimie, le textile, le papier et l'emballage, l'électronique, la construction, l'aéronautique et l'automobile [53].

Les PFAS sont persistants dans l'environnement — d'où leur surnom de *polluants éternels*. Certains PFAS sont toxiques, bioaccumulables et suspectés d'effets cancérogènes, reprotoxiques et perturbateurs endocriniens.

9.2 Présence dans les bâtiments

9.2.1 Contamination primaire

a) Revêtements de sol

Les PFAS ont été couramment utilisés depuis les années 1970 dans les traitements de surface hydrofuges et antitaches des sols en vinyle, linoléum, parquet ou moquette. Leur usage a fortement diminué à partir de 2015. Ils peuvent aussi se retrouver dans les colles et vernis utilisés lors de la pose.

b) Panneaux de façade (métal et bois)

Depuis les années 1980, les PFAS ont été utilisés dans les revêtements de surface (peintures, vernis ou laques PVDF, PTFE, fluoropolymères) pour protéger les façades métalliques et composites. Les panneaux en bois traités avec des produits fluorés ou vernis techniques ont également été répandus jusqu'aux années 2010.

c) Gouttières et descentes pluviales

Les PFAS peuvent se trouver dans les revêtements anticorrosion appliqués sur les métaux (zinc, aluminium, acier galvanisé) ou dans les joints d'étanchéité et revêtements plastiques associés. Leur utilisation a débuté dans les années 1980 et a diminué à partir de 2010.

d) Rubans et joints d'étanchéité

Les films plastiques, membranes et rubans adhésifs (PTFE, FEP), mastics et colles peuvent contenir des PFAS, et ce depuis 1970-1980. Ces matériaux sont encore utilisés aujourd'hui.

e) Matériaux de toiture

Certains revêtements de tuiles métalliques, membranes synthétiques ou bitumineuses contiennent des PFAS pour améliorer la résistance aux UV et à l'eau. Les traitements anti-mousse et hydrofuges appliqués sur les toitures en béton ou fibrociment peuvent également en contenir. Leur présence est suspectée dans les toitures installées entre 1980 et 2015.

f) Cloisons et panneaux intérieurs

Les PFAS peuvent être présents dans les peintures murales, papiers peints, panneaux décoratifs ou revêtements en stratifié, utilisés pour leurs propriétés antitaches ou faciles à nettoyer. Ces produits sont apparus dans les années 1970-1990. Depuis 2010, la réglementation européenne et les labels environnementaux (type Ecolabel, Cradle to Cradle) ont conduit à une forte réduction de ces additifs.

g) Isolants

Les mousses isolantes rigides (PUR, PIR, XPS) produites entre les années 1980 et 2010 peuvent contenir des PFAS comme additifs de procédé ou agents de surface. Certains produits textiles isolants (laine minérale revêtue, feutres, membranes) peuvent aussi être traités avec des composés fluorés.

h) Produits divers (composites, verre, etc.)

Les PFAS sont utilisés depuis 1990 dans les revêtements techniques de composites, verres, panneaux solaires ou céramiques pour améliorer l'adhérence, la résistance chimique ou la protection de surface. Bien que leur emploi soit aujourd'hui restreint, certaines applications industrielles spécialisées (verre auto-nettoyant, panneaux photovoltaïques) peuvent encore en contenir.

9.2.2 Contamination secondaire

a) Industries employant de PFAS

La contamination secondaire de PFAS est suspectée dans les industries de fabrication de mousses anti-incendie (AFFF), de revêtements imperméabilisants, de plastiques fluorés (PTFE, FEP, ETFE), ainsi que dans la production de textiles, de papiers et d'emballages traités antitaches ou anti-graisse.

b) Par dépôt de mousses anti-incendie

Les PFAS présents dans les mousses anti-incendie (AFFF) peuvent provoquer une contamination secondaire durable des sols et structures dans les zones où ces produits ont été utilisés. Il s'agit d'entrepôts, parkings, garages souterrains et stations de maintenance ayant connu des exercices ou des incendies.

9.3 Retours d'expériences : 2 cas d'étude

Dans un chantier pilote du Protocole mené en 2025, des analyses de PFAS ont été réalisées dans une maison unifamiliale. Les échantillons, prélevés sur des matériaux inertes avant démolition (tuiles, carrelages et colles, briques de façade avec mastic, pierre naturelle peinte, dalle de garage) et sur les gravats après démolition, ont révélé la présence de PFAS dans 2 des 13 échantillons (briques de façade avec mastic et tuiles), à des concentrations environ huit fois inférieures aux limites EoW, avec un seuil de détection de 0,5 µg/kg ms pour le PFOA et le PFOS.

Dans une étude Danoise de 2025 [53], 44 matériaux de construction ont été testés pour la présence de PFAS. Des composés fluorés ont été détectés dans 11 échantillons, dont 6 contenant des PFAS spécifiques (1–40 µg/kg). 8 dépassaient la limite européenne proposée pour le fluor total (50 mg/kg).

10 Les gaz fluorés (F-gaz)

10.1 Généralités

Les gaz fluorés (F-gaz) regroupent plusieurs familles de composés contenant du fluor, principalement HFC (hydrofluorocarbures), HCFC (hydrochlorofluorocarbures), CFC (chlorofluorocarbures) et HFO (hydrofluoroléfines). Ils ont été massivement utilisés depuis les années 1960 comme fluides frigorigènes, agents gonflants dans les isolants à cellules fermées, agents extincteurs, et dans la fabrication de composants électroniques.

Les F-gaz, ont un fort potentiel de réchauffement climatique et peuvent se décomposer en PFAS. Exemple : libérer les F-gaz contenus dans 10 kg de mousse isolante équivaut à l'impact climatique d'un tour du monde en voiture [55]. Le Règlement (UE) 2024/573 prévoit la réduction progressive des F-gaz jusqu'à leur quasi-élimination d'ici 2050, en limitant les mises sur le marché et en imposant le contrôle, la récupération et le traitement des gaz en fin de vie [54]

10.2 Présence dans les bâtiments

Les F-gaz sont retrouvés comme contamination primaire. En tant que contaminants primaires, ils sont emprisonnés dans les matériaux : soit dans les cellules fermées des panneaux, soit dans les équipements. Leur diffusion étant extrêmement lente, ils restent dans ces matériaux pendant 20 à 200 ans, ce qui signifie qu'ils sont encore présents dans de nombreux matériaux mis en œuvre dans le passé. Lorsqu'ils sont libérés, en étant employés industriellement ou par dégradation des contaminants primaires, les F-gaz ne génèrent pas de contamination secondaire, étant volatils [54].

10.2.1 Contamination primaire

a) Mousses rigides synthétiques à cellules fermées
Les Fgaz sont utilisés comme agents gonflants dans les *mousses rigides synthétiques à cellules fermées*, dénomination qui englobe :

- PUR et PIR (polyuréthane et polyisocyanurate – panneaux, plaques laminées ou mousse ;
- XPS (polystyrène extrudé) ;
- EPS (polystyrène expansé, aussi appelé frigolite - structure interne fermée) ;
- PF (mousse phénol-formaldéhyde), par exemple la mousse résolique ;
- ainsi que tout isolant similaire contenant un agent gonflant piégé dans des cellules fermées.

Ces mousses sont retrouvés en sous toiture, dans les toitures inversées (XPS), dans les murs, sols, caves, ossatures (p.ex. panneaux sandwich) et dans des caissons techniques. Selon l'année de fabrication, différents gaz fluorés ont été utilisés comme agents gonflants dans les mousses isolantes (Tableau 1).

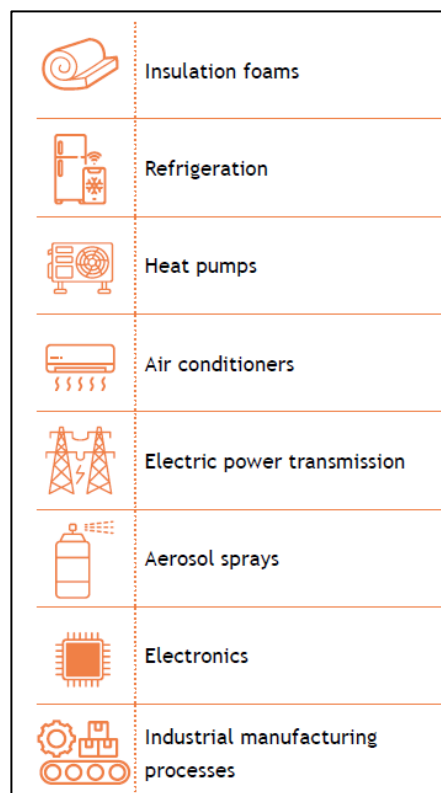


Image 1 : produits susceptibles de contenir des F-gaz [55]

Tableau 1 : Période d'utilisation des gaz fluorés dans les mousses isolantes [55] :

Période de fabrication	F-gaz potentiellement présent	Commentaire
Avant 1995	CFC (chlorofluorocarbures)	Utilisés comme agents gonflants ; interdits depuis en raison de leur effet destructeur sur la couche d'ozone.
1995 – 2004	HCFC (hydrochlorofluorocarbures)	Substituts temporaires des CFC, également progressivement éliminés pour leurs impacts environnementaux.
Après 2004	HFC (hydrofluorocarbures)	Ne détruisent pas la couche d'ozone, mais présentent un fort potentiel de réchauffement climatique.

En pratique, les mousses isolantes installées avant 2015 sont susceptibles de contenir des F-gaz [55]. En raison de leur large utilisation, les quantités les plus importantes rencontrées lors des opérations de déconstruction concernent principalement le PUR/PIR et l'XPS.

b) Autres sources primaires de F-gaz

- Systèmes HVAC, réfrigération et pompes à chaleur (interdiction progressive depuis 2020)
- Systèmes extincteurs à halons (interdits dans les années 1990 : mise sur le marché stoppée en 1994, interdiction d'utilisation dans les nouveaux systèmes d'extinction en 1998, et remplacement ou mise hors service obligatoire à partir de 2003), que l'on peut retrouver dans les locaux techniques, salles informatiques, locaux électriques et archives.
- Certains équipements électriques utilisant des gaz isolants (câblages électriques).

10.3 Gestion des F-gaz lors de la démolition : obligations et procédure sur chantier

Quelles obligations ?

Au niveau de l'EU, il est obligatoire de⁶:

- identifier et récupérer les F-gaz avant le démantèlement ou la destruction des équipements et matériaux concernés ;
- garantir la certification du personnel et des entreprises manipulant ces gaz ;
- prévenir toute émission, la libération dans l'air étant interdite ;
- garantir la traçabilité des opérations via certificats de récupération et rapports.

Ces exigences s'appliquent également aux *mousses rigides synthétiques à cellules fermées* susceptibles de contenir des F-gaz, telles que le PUR, PIR ou XPS.

Identification des F-gaz

Avant le début de toute activité de démolition ou de rénovation, une enquête approfondie doit être menée afin de déterminer si les mousses isolantes contiennent des F-gaz, conformément aux règlements européens. Cette responsabilité incombe à la fois au maître d'ouvrage et à l'entrepreneur. Le non-respect de cette exigence peut entraîner des sanctions.

L'enquête doit porter sur l'identification de substances telles que les HFC, HCFC ou CFC, couramment utilisées comme agents gonflants dans les mousses isolantes. En cas de présence de F-gaz, cette investigation permettra de planifier la méthode de retrait la plus sûre afin d'éviter toute libération accidentelle de ces gaz nocifs pendant les opérations.

La présence de gaz fluorés (F-gaz) dans les mousses isolantes peut être identifiée par une combinaison d'étapes préliminaires et analytiques :

1. Recherche documentaire :
 - Consulter les fiches techniques, manuels ou documents du fabricant pour rechercher une indication de présence ou d'absence de F-gaz.
 - Identifier l'année de fabrication et le type de mousse : les produits installés avant 2015 sont les plus susceptibles de contenir des F-gaz.
2. Analyse sur chantier :

⁶ Obligations en vigueur depuis le 11 mars 2024, date d'entrée en application du Règlement (UE) 2024/573 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et du Règlement (UE) 2024/590 relatif aux substances appauvrissant la couche d'ozone.

- Les détecteurs de fuites F-gaz (Testo 316-3, D-TEK Stratus) peuvent servir à identifier les F-gaz dans les mousses isolantes. Il ne s'agit pas d'un test normalisé et ne permet pas de quantifier la présence de F-gaz, mais il offre une méthode simple et peu coûteuse pour orienter la gestion de ces mousses. La procédure consiste à percer un petit trou dans la mousse à l'aide d'une aiguille, puis à approcher le détecteur pour vérifier la présence éventuelle de gaz. Les essais réalisés ont montré que de nombreuses mousses, anciennes comme récentes, donnent un signal positif. Le seuil de détection étant bas, les mousses au pentane (utilisé comme alternative au F-gaz) peuvent réagir positivement, et ce en raison d'additifs fluorés. Le règlement ne prévoyant aucun seuil minimal, toute mousse détectée comme contenant des F-gaz doit dès lors être collectée et traitée comme telle.
3. Analyses en laboratoire :
- Si ces informations sont insuffisantes, des tests en laboratoire peuvent confirmer la présence de F-gaz. Des travaux européens visent à standardiser les substances à rechercher afin d'harmoniser les pratiques d'analyse. Attention, peu de laboratoires sont encore certifiés pour ces tests [55].
- Test de densité et de propriétés thermiques : les mousses à faible densité et forte performance isolante peuvent indiquer l'usage d'agents gonflants fluorés.
 - Analyses chimiques :
 - GC-MS (chromatographie/spectrométrie de masse) pour détecter et quantifier les gaz.
 - FTIR (spectroscopie infrarouge) pour repérer les liaisons C-F.
 - Analyse d'espace de tête pour identifier les gaz volatils piégés dans les mousses.

Retrait physique de la mousse isolante

Le retrait des mousses isolantes contenant des F-gaz est strictement encadré : elles doivent être retirées sans être découpées ni broyées afin d'éviter toute émission. Les professionnels manipulant des mousses contenant des F-gaz doivent suivre une formation spécifique et être certifiés⁷

Le non-respect de ces obligations lors de travaux de démolition ou de rénovation entraînera des sanctions prévues par les règlements (UE) 2024/573 et 2024/590, que chaque État membre doit fixer et appliquer, avec une mise en œuvre attendue d'ici fin 2025 [55].

Evacuation et traitement

Les matériaux contenant des gaz fluorés (F-gaz) doivent être transportés vers une installation agréée pour leur traitement. Les gaz récupérés peuvent être soit détruits à haute température, soit purifiés et régénérés pour réutilisation industrielle

Documentation et traçabilité

Même si le rapportage n'est pas explicitement exigé au niveau européen, il est recommandé de conserver :

- la nature des gaz fluorés,
- les détails de retrait et d'élimination,
- les informations sur l'entreprise agréée et les dates d'intervention, pendant au moins cinq ans pour assurer la traçabilité et la conformité

⁷ Conformément au règlement (UE) 2024/573. Chaque État membre doit définir le contenu de cette formation et notifier la Commission européenne.

III. Retour d'expérience des chantiers test du protocole

Des échantillonnages et analyses en laboratoire ont été réalisés sur les chantiers pilotes du protocole de déconstruction, pour un total de 29 analyses (Tableau 3).

Les résultats montrent que le risque de contamination des déchets inertes est faible lorsque l'utilisation des bâtiments est « normale », sans activité industrielle à risque ni indices visuels de pollution. Dans les bâtiments résidentiels, les risques sont globalement limités et les investigations peuvent se concentrer sur les contaminations primaires. Les risques n'y sont cependant pas nuls. Par exemple, des dépassements ont été identifiés pour des contaminants primaires dans une maison unifamiliale (colle à carrelage et carrelages). Dès lors, l'étude documentaire (ou l'utilisation de la Checklist des zones à risque) et la visite sur site sont essentielles pour repérer les hotspots. Les analyses en laboratoire permettent de confirmer ou d'infirmer les suspicions et d'évaluer la gravité des contaminations.

Un risque de contamination apparaît principalement lorsque le bâtiment a été utilisé pour des activités industrielles à risque, telles que des garages ou des installations de combustion, ou lorsque des contaminations secondaires visibles sont observées, par exemple sous forme de traces de roofing collé, de fuites de mazout, de suie, de dépôts atmosphériques ou dans une cave inondée ou ayant utilisée.

Au total, huit échantillons sur vingt-neuf ont présenté des dépassements des valeurs seuil du statut de fin de déchet, certains cumulant plusieurs dépassements. Les dépassements concernent les métaux lourds (particulièrement le Cu, Cr, Pb, Ni, Zn), les PCB et les huiles minérales. Aucun dépassement n'a été identifié pour le **B(a)p**, ni pour les **PFAS**.

Les dépassements les plus importants en **métaux lourds** ont été identifiés dans les mâchefers et scories, où les concentrations dépassent de plus de 300 fois la valeur seuil applicable (EoW). Outre ces contaminations ponctuelles, une proportion importante d'échantillons présente des concentrations proches des seuils EoW, ce qui complique la réduction de ces teneurs et reflète la présence intrinsèque de certains métaux lourds dans de nombreux matériaux inertes plutôt qu'une contamination localisée clairement identifiable. Les résultats mettent ainsi en évidence un *bruit de fond* significatif pour certains métaux lourds, en particulier le Cr, Ni et dans une moindre mesure le Zn et Pb, pour lesquels une part substantielle des échantillons analysés se situe entre la moitié de la valeur seuil et la valeur seuil de l'EoW (de 45 à 10% - Cfr Tableau 2). Certaines contaminations restent difficiles à détecter, notamment le zinc présent sur les façades ou le chrome contenu dans d'anciennes colles intégrant des agents fongicides, des pigments ou des stabilisants.

Tableau 2 : Proportion de « bruit de fond » (défini dans cette étude tel qu'équivalent aux concentrations entre l'EoW et la moitié de la valeur de l'EoW) et proportion de dépassements des valeurs seuil de l'EoW, pour les métaux lourds analysés.

Métaux lourds	EoW > [C] > 0.5*EoW	[C] > EoW
Mercure (Hg)	0%	0%
Cadmium (Cd)	0%	0%
Arsenic (As)	7%	0%
Cuivre (Cu)	0%	3%
Plomb (Pb)	10%	3%
Nickel (Ni)	24%	0%
Zinc (Zn)	10%	10%
Chrome (Cr)	45%	10%

Les contaminations en **PCB** ont été identifiées dans les scories/mâchefers (dépassement de plus de 5*EoW et de l'ordre de 0.5*EoW). Aucune autre contamination primaire n'a été retrouvée.

Les dépassements en **huiles minérales** concernaient uniquement de la contamination secondaire : une fuite de mazout sur des briques et une fuite de carburant sur une dalle de garage (dépassements de plus de 350*EoW et de plus de 7*EoW respectivement).

L'échantillonnage de gravats après démolition permet d'indiquer que, dans le cas de pollutions à faibles concentrations ou de hotspots très localisés, la dilution des polluants dans la masse totale des déchets inertes peut être suffisante pour permettre aux gravats de démolition de respecter les seuils applicables d'EoW. Il apparaît dès lors pertinent d'évaluer non seulement la présence, mais aussi l'ampleur et la localisation des contaminations. Toutefois, par principe de précaution, il reste fortement recommandé d'identifier et d'éliminer les sources de contamination en amont de la démolition. Une intervention après démolition est en effet généralement impossible ou implique le traitement de volumes très importants de gravats, ce qui peut engendrer des surcoûts significatifs ou la dispersion de polluants dans l'environnement.

Tableau 3 : Résultats des échantillons analysés.

Paramètre	Seuil limite EoV (mg/kg ms)	Pl. 24-03. Pavé ext sup 02.1	Pl. 24-03. Pavé ext inf 02.2	Pl. 24-03. Mur int peint 05.0	Pl. 24-03. Carrelage s 04.0	Pl. 24-03. Brique ext 01.0	Pl. 25-03. Pierre naturelle sup 11.1	Pl. 25-03. Pierre naturelle inf 11.2	Pl. 25-03. Briques voirie sup 12.1	Pl. 25-03. Briques voirie inf 12.2	Pl. 24-03. Briques roofing 03.0	GC. 25-03. Tuiles ext 08.0	GC. 25-03. Cheminée 09.0	GC. 25-03. Cendres 06.0	GC. 25-03. Béton sup 07.1	GC. 25-03. Béton inf 07.2	GC. 25-03. Briques surf mazout 10.0	Pl. 25-03. Facade 13.0	1222 - mas façade	2222 - coll roofing	1B - béton garage	mâcheter s/scories sous dalle de sol	4222 - cave peinte, inondée	tuiles, dépôt atmosphérique	plusieurs couches de colle, carrelage	1-gravats	2-gravats	3-gravats		
Mercuré (Hg)	1,7																													
Cadmium (Cd)	1,2																		<0,10	0,12	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10		
Arsenic (As)	35																		<0,40	<0,40	<0,40	0,46	<0,40	0,49	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40		
Cuivre (Cu)	72	30	20	<10	<10	22	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10	4980	11	<10	13	14	16	<5,0	12	14	26	26	20	13	17	14	13	
Plomb (Pb)	120	15	<12	34	41	53	<12	<12	23	31	14	79	32	9050	31	<12	69	36	21	56	17	29	65	16	39	29	37	19	25	
Nickel (Ni)	48																		30	11	25	30	15	17	15	39	31	25	24	
Zinc (Zn)	200	126	86	70	69	29	13	11	47	39	140	72	69	68000	97	31	148	289	83	71	54	84	95	85	1700	78	47	67	53	
Chrome (Cr)	91	47	46,4	38,4	46,1	40,6	<10,0	<10,0	45	45,8	67,5	81,7	78,3	434	24,5	19,1	69,5	28,1	75	14	66	75	32	28	32	96	93	62	59	
Benzène	0,5																		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Toluène	15																		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Éthylbenzène	5																		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Xylènes (totaux)	15																		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Styrène	10																		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Naphtalène	6	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	0,716	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	<0,0323	<0,0309	<0,0317	0,0684	<0,0320	<0,0338	0,0379	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,18	<0,050	<0,050	<0,050	
Benz(a)pyrène	7,2	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,152	<0,0309	<0,0317	0,0434	0,056	<0,0338	0,14	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	2,5	<0,050	<0,050	<0,050	
Phénanthrène	30	0,0338	0,0713	<0,0330	<0,0331	0,131	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,463	<0,0309	<0,0317	1,41	0,175	<0,0338	22,3	0,0336	<0,050	<0,050	<0,050	0,06	0,061	0,3	<0,050	<0,050	6,4	0,11	<0,050	0,091
Fluoranthène	30	0,0346	0,0693	<0,0330	<0,0331	0,0598	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,572	<0,0309	<0,0317	1,74	0,289	0,0364	2,35	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	0,11	0,064	0,51	<0,050	<0,050	8,4	0,14	0,055	0,11
Benz(a)anthracène	30	<0,0322	0,0366	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,246	<0,0309	<0,0317	0,106	0,0921	<0,0338	0,713	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	0,057	<0,050	<0,050	<0,050	2,8	0,06	<0,050	<0,050	
Chrysène	20	<0,0322	0,0509	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,264	<0,0309	<0,0317	0,478	0,143	<0,0338	2,83	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	<0,050	2,4	0,063	<0,050	0,052	
Benz(b)fluoranthène	4,4	<0,0322	0,0356	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,178	<0,0309	<0,0317	0,198	0,0841	<0,0338	0,208	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,24	<0,050	2	<0,050	<0,050	<0,050	
Benz(k)fluoranthène	10	<0,0161	<0,0178	<0,0165	<0,0165	<0,0171	<0,0159	<0,0158	<0,0154	<0,0168	0,0891	<0,0155	<0,0153	0,0989	0,042	<0,0169	0,104	<0,0149	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,12	<0,050	1	<0,050	<0,050	<0,050	
Benz(g,h)pyrène	10	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,0378	<0,0309	<0,0317	0,0648	0,048	<0,0338	0,224	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,41	<0,050	<0,050	2,1	<0,050	<0,050	<0,050
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	15	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,104	<0,0309	<0,0317	0,0632	0,0448	<0,0338	0,0736	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	1,6	<0,050	<0,050	<0,050	
Acénaphthène	6,2	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	<0,0323	<0,0309	<0,0317	0,0777	<0,0320	<0,0338	0,141	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,16	<0,050	<0,050	<0,050	
Acénaphthylène	1,2	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	<0,0323	<0,0309	<0,0317	0,045	<0,0320	<0,0338	0,0642	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,71	<0,050	<0,050	<0,050	
Anthracène	10	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,0703	<0,0309	<0,0317	0,12	<0,0320	<0,0338	0,625	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	2,3	<0,050	<0,050	<0,050	
Dibenzo(a,h)anthracène	3,2	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	<0,0323	<0,0309	<0,0317	<0,0305	<0,0320	<0,0338	<0,0292	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,38	<0,050	<0,050	<0,050	
Fluorène	20	<0,0322	<0,0313	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	<0,0323	<0,0309	<0,0317	0,0556	<0,0320	<0,0338	0,756	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,6	<0,050	<0,050	<0,050	
Pyrène	46	<0,0322	0,0658	<0,0330	<0,0331	<0,0342	<0,0318	<0,0276	<0,0308	<0,0336	0,404	<0,0309	<0,0317	1,02	0,227	<0,0338	7,21	<0,0299	<0,050	<0,050	<0,050	0,086	0,058	0,61	<0,050	<0,050	6,7	0,1	<0,050	0,078
Hexane	12																		<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Heptane	20																		<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Octane	60																		<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Huile minérale (C10-C40)	1000	60	40	<41	<41	<43	<40	<34	<38	<42	<40	<39	<40	113	646	<42	49900	39	<50	<50	<50	<50	<50	7700	<50	110	<50	<50	<50	<50
PCB	0,5	0,006	0,0041	0,0018	0,0008	<0,0137	<0,0139	<0,0048	<0,0054	<0,0059	<0,0057	<0,0054	<0,0056	4,67	2,56	<0,0059	0,0855	<0,0141	<0,004	<0,0040	<0,0040	<0,0040	0,056	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Cyanure libre	5																		<0,050	0,051	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Cyanure non oxydable au chlore	12																		0,056	0,09	<0,050	<0,050	<0,050	0,066	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
PFOA	7,9																		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5	<0,5		

IV. Liste de contrôle - zones à risque dans les bâtiments

En vue d'obtenir des granulats recyclés de haute qualité environnementale, il est nécessaire d'identifier les agents contaminants dans un bâtiment, afin de les séparer au mieux des matériaux à recycler au cours de la déconstruction sélective. Pour cela, il faut disposer d'une connaissance suffisante sur la nature des agents contaminants à rechercher, sur les matériaux dans lesquels les contaminants risquent d'être présents, ainsi que leur localisation.

La présente étude sur les contaminants (*Amélioration de la qualité environnementale des granulats recyclés en Région de Bruxelles Capitale - Livrable B.1 : Rapport sur le lien entre les substances interférentes et les contaminants présents dans les bâtiments, les éléments de construction et les granulats recyclés*) apporte des éléments de réponse quant aux facteurs de risque des contaminants des granulats. Cependant, il en découle également que la typologie des bâtiments n'est qu'un des multiples facteurs influençant la présence de contaminants. En outre, il a été identifié que la plupart des agents contaminants sont associés à des matériaux spécifiques ou à la fonction d'un type d'élément de construction donné. Dès lors, il a été jugé pertinent d'élaborer une liste indiquant de manière systématique (c'est-à-dire pour chaque élément de construction), quels agents contaminants peuvent être retrouvés et où. Dans le cas des bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, ce travail de recherche a été effectuée au sein du projet IRMA (Modèle de bâtiment [36]) et été approfondi par le CSTC (Tableau 1).

Il faut noter que cette liste de vérification est indicatrice et n'est pas suffisante pour établir un inventaire complet des agents contaminants. En effet, l'identification des matériaux contaminés doit être complétée par une étude historique du bâtiment, ainsi qu'une stratégie d'analyse et de prélèvements non-destructifs et/ou destructifs (voir *Livrable C2*).

Tableau 1 : Matériaux susceptibles de contenir une contamination primaire et/ou secondaire en cuivre (Cu), chrome (Cr), plomb (Pb), zinc (Zn), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphényles (PCP), avec indication de leur localisation dans un bâtiment (résidentiel, commercial ou industriel).

Fondations et sous-couches		
Elément et localisation	Matériau	Contamination possible
Couche de drainage sous la dalle de sol	Laitier	Cu, Cr, Pb, Zn, HAP
Barrière à l’humidité (dans, sous ou sur la dalle de sol)	Couche goudronnée	HAP
	Liège goudronné	HAP
	Remplissage des joints	HAP
Coatings (sur la dalle de sol)	Divers	HAP, PCB, Cu, Cr, Pb, Zn
Contamination par utilisation	HAP, métaux lourds, huile minérale (taches sur le sol suite à des fuites dans une installation, p. ex.)	
Planchers et parachèvement du sol		
Elément et localisation	Matériau	Contamination possible
Chape	Béton	Amiante, HAP
	Béton bitumineux à forte teneur en asphalte	HAP
Joints	Mastic élastique	PCB

Coating pour chape	Laque, coatings	PCB, Cu, Cr, Pb, Zn
Revêtement de sol	Colle, adhésif	Amiante, HAP
	Tuiles ou granulats en caoutchouc ou pneus recyclés	HAP
	Panneaux de plancher	Amiante
Revêtement de sol (carreaux)	Asphalte (goudron bitumineux)	HAP
	Dalles de carrelage	Amiante
Parquet	Bois	Cu, Cr, HAP
Couches d'isolation (bruit, chaleur, humidité) sous le plancher	Couches bitumineuses (goudron bitumineux), membrane synthétique, liège goudronné	HAP
Planchers (général)	Réparations (plâtre, filler)	Amiante, HAP
Contamination par utilisation	Fuites, tachage, utilisation de substances contaminantes	
Murs		
Elément et localisation	Matériau	Contamination possible
Etanchéité à l'eau (contre les murs en contact avec le sol)	Enduits bitumineux, coatings, membranes (goudron bitumineux)	HAP
Barrière contre l'humidité ascensionnelle	Couches/membranes bitumineuses (goudron)	HAP
Mur extérieur	Couche de plâtre	Cu, Cr, Pb, Zn
	Joints et remplissage entre éléments préfabriqués	PCB, HAP, Amiante
	Joints entre bâtiments/isolation	Amiante, HAP
	Bardage en bois	Cu, Cr, Pb, HAP
Parachèvement du mur	Peinture	Cu, Cr, Pb, Zn, PCB
	Parachèvement, adhésifs	Amiante, HAP
	Lambris en bois	Cu, Cr, Pb, HAP
Cloison sèche	Joints et remplissage entre éléments préfabriqués	Amiante
	Amiante-plâtre	Amiante
Perforation d'un mur intérieur	Remplissage de trous	Amiante
Isolation dans les murs extérieurs	Isolation thermique (goudron bitumineux)	HAP
Contamination par utilisation	Stockage de substances dangereuses ou utilisation de certains produits	
Plafonds		
Elément et localisation	Matériau	Contamination possible
Remplissage des planchers surélevés	Laitier, sable	HAP, Cu, Cr, Pb, Zn
Panneaux pour plafonds suspendus	Panneaux incombustibles	Amiante
	Panneaux en bois	Cu, Cr, Pb, HAP
Isolation thermique	Liège goudronné	HAP
Barrière à l'humidité	Membranes/couches bitumineuses (goudron)	HAP

Parachèvement du plafond	Plâtre, peinture	PCB, amiante, Cu, Cr, Pb, Zn
Contamination secondaire	Fuites, infiltration du plancher supérieur	
Cheminée		
Élément et localisation	Matériau	Contamination possible
Conduits de cheminée (contamination primaire)		Amiante
Résidus de combustion	Cendre	HAP, Cu, Cr, Pb, Zn
Contamination par utilisation	Dépôt de suie sur les éléments de cheminée	
Fenêtres, portes et escaliers		
Élément et localisation	Matériau	Contamination possible
Joints avec le mur	Joints	HAP, PCB
Menuiseries extérieures et intérieures	Châssis en bois	Cu, Cr, Pb, HAP
Fenêtres	Joints ou mastics	Amiante
Isolation	Isolant	Amiante, HAP
	Colle bitumineuse pour isolation à base de matériaux organiques	HAP
Tablettes de fenêtre (ex : imitation marbre)	Amiante-ciment	Amiante
Portes résistantes au feu	Ame, serrure	Amiante
Éléments métalliques	Peintures	PCB, Cu, Cr, Pb, Zn
	Poignées de porte, etc.	Cu
Toiture		
Élément et localisation	Matériau	Contamination possible
Charpente en bois	Bois	Cu, Cr, Pb, HAP
Lestage des toitures plates	Laitier, scories	HAP, Cu, Cr, Pb, Zn
Feuille métallique (cheminée, fenêtres)	Métal	Cu, Cr, Pb, Zn
Membrane bitumineuse	Goudron bitumineux	HAP
Membrane d'étanchéité	Caoutchouc	HAP
Plaques ondulées	Amiante-ciment	Amiante
Tuiles	Caoutchouc ou mélange contenant pneus recyclés	HAP
Installations techniques		
Élément et localisation	Matériau	Contamination possible
Sanitaires	Céramiques	Zn, Pb
Câbles	Câbles électriques	Cu
	Isolation	HAP
	Revêtement de câble	Pb
	Lignes électriques remplies de pétrole	PCB
Installation électrique	Rubans d'isolation électrique (amiante tissée), isolation thermique de câbles	Amiante
Transformateurs	Pétrole (isolation et transmission thermique)	PCB

Condensateurs	Pétrole (isolation et transmission thermique)	PCB
Accumulateurs		PCB
Tubes TL	Condensateurs	PCB
Systèmes hydrauliques	Huile hydraulique	PCB
Conduites d'eau (potable), gouttières	Tuyaux métalliques	Pb, Cu
	Soudures	Pb
Tuyaux, canalisations	Amiante-ciment	Amiante
	Gaine	PCB
	Tuyaux métalliques	Cu, Cr, Pb, Zn
Systèmes de chauffage	Etanchéité et isolation des systèmes de chauffage	Amiante
	Peinture	Cu, Cr, Pb, Zn
Ascenseurs	Freins	Amiante
Plomberie	Peinture	Pb
Bloc autonome d'éclairage	Batterie	Ni ou Pb
Citernes à mazout	Contenu/résidu/fuite	Huile minérale
Contamination secondaire	Fuites d'appareils fonctionnant au pétrole ou fuites de conduites par lesquelles des substances chimiques ont été transportées, tachage	Huile minérale, HAP
Surfaces durcies		
<i>Élément et localisation</i>	<i>Matériau</i>	<i>Contamination possible</i>
Durcissement de l'asphalte	Matériaux goudronnés	HAP
Joints entre panneaux en béton	Matériau de remplissage	HAP, PCB
Contamination secondaire	Taches d'huile (avec un éventuel encrassement du sol sous le revêtement)	

V. Références

- [1] CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction, 'Inventaire des agents contaminants dans les bâtiments à démolir', *Les Dossiers du CSTC - Construction Durable*, vol. Cahier n°1, 2007.
- [2] J. van Herk et E. Zoontjes, 'Speerpunt veras : Onderzoek gevaarlijke stoffen vrijkomend bij sloopprojecten', VERAS, rapport n° 8VERAS-GEV.12125.R, mai 2018.
- [3] 'WP 4. Enhanced recycling of C&DW : Task 3 Guideline on the Assessment of Buildings and Structures with the aim of optimum recycling rates', projet IRMA (Integrated Decontamination and Rehabilitation of Buildings, Structures and Materials in Urban Renewal), *Commission Européenne*, juin 2006.
- [4] CIRC - Centre International de Recherche sur le Cancer, 'Chrome VI et ses composés et risque de cancer', consulté via cancer-environnement.fr, le 22 juillet 2021.
- [5] J. Schnöller, K. Hammer, D. Clement, et P. H. Brunner, 'Beschreibung und Zuordnung von Schadstoffen in Abbruchobjekten'. Projet EnBa, TU-Wien : Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Fachbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, septembre 2011.
- [6] L. Verger, 'Les oxydes de chrome dans les pigments et les décors de porcelaine', Université Pierre Marie Curie, Ecole doctorale n°397 : Physique et chimie des matériaux, 2015.
- [7] C. Pauwels et R. Hermans (peintres émérites membres de la confédération de la construction), communication personnelle, 25 janvier 2021.
- [8] 'Directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides', consulté via eur-lex.europa, 12 janvier 2021.
- [9] 'Directive 2006/139/CE de la Commission du 20 décembre 2006 modifiant la directive 76/769/CEE du Conseil, en ce qui concerne la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi des composés de l'arsenic, en vue d'adapter son annexe I au progrès technique', consulté via eur-lex.europa
- [10] Xhonneux, 'Analyse des flux de bois traité importé en Belgique destiné aux particuliers et des pratiques d'achat des grands groupes de distribution'. *Service Public Fédéral Santé Public, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement*, janvier 2008.
- [11] 'Décret no 92-1074 du 2 octobre 1992 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination de certaines substances et préparations dangereuses', consulté via legifrance.
- [12] US EPA (United States Environmental Protection Agency), 'Overview of Wood Preservative Chemicals', octobre 2015.
- [13] M. Wahlström, T. Teittinen, T. Kaartinen, et L. van Cauwenberghe, 'Hazardous substances in construction products and materials', projet PARADE ; Best practices for Pre-demolition Audits ensuring high quality RAW materials', décembre 2019
- [14] 'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale relatif à l'utilisation des composés de l'arsenic ou du bois traité avec des composés d'arsenic dans les installations classées', 4 septembre 2008, consulté via ejustice.just.fgov.be
- [15] J. Vrijders et L. De Bock, 'Utilisation de granulats de béton recyclés dans le béton'. *CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction)*, Monographie N° 32, juillet 2019.
- [16] V. Pollet et J. Jacobs, 'Utilisation des aciers inoxydables dans le béton', *CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction)*, vol. CSTC-Contact n°12, avril 2006.
- [17] CIRC - Centre International de Recherche sur le Cancer, 'Suie et carbone suie et risque de cancer', consulté via cancer-environnement.fr, le 10 janvier 2021).

- [18] G. Lespagnol, 'Lixiviation du Chrome, du Cuivre et de l'Arsenic à partir de sols contaminés sur des sites de traitement du bois', *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne*, 2003.
- [19] R. A. Zabel et J. J. Morrell, 'Chapter 19 - Chemical protection of wood', *Wood Microbiology (Deuxième Edition)*, 2020, pp. 471–515. doi: 10.1016/B978-0-12-819465-2.00019-X.
- [20] C. Callandt et K. De Cuyper, 'Corrosion des tuyau-teries sanitaires en acier galvanisé', *CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction)*, vol. Les Dossiers du CST, N° 2/2007, Cahier n° 8, 2007
- [21] J. Lefort, 'Chimie des couleurs pour la peinture à l'eau et à l'huile: Comprenant l'historique, la synonymie, les propriétés physiques et chimiques, la préparation, les variétés, les falsifications, l'action toxique et l'emploi des couleurs anciennes et nouvelles'. Collection XIX, 2015.
- [22] L. Lestel, 'La production de céruse en France au XIXe siècle : évolution d'une industrie dangereuse', *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, no. 38, Art. no. 38, mars 2002, doi: 10.4000/tc.1067.
- [23] M. Guillemot et C. Patrascu, 'Les additifs', *INRS, Métrologie des polluants, Base de données : plastiques, risque et analyse thermique Version 2*, avril 2019.
- [24] IBGE - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 'Les données de l'IBGE : Interface Santé et Environnement, Ch 5 - Saturnisme', octobre 2008.
- [25] OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 'Questions-Réponses : Campagne de sensibilisation dans le cadre de la semaine d'action internationale pour la prévention de l'intoxication au plomb', octobre 2017.
- [26] VIVAQUA, 'Rapport d'activités 2018', 2019.
- [27] 'Question écrite - Interdiction de l'utilisation du plomb - E-0674/2009', *Questions parlementaires - Parlement Européen*, février 2009.
<https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+WQ+E-2009-0674+0+DOC+XML+V0//FR> (consulté le 18 janvier 2021).
- [28] 'Loi du 30 mars 1926 relative à l'emploi de la céruse et autres pigments blancs de plomb'. *Moniteur belge*, 30 mars 1926, consulté via ejustice.just.fgov.be, le 22 juillet 2021
- [29] F. Claeys and C. De Cuyper, 'Lood in de bouw'. *CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction)*, 2002.
- [30] 'Arrêté royal du 5 novembre 1990 modifiant le Règlement général pour la protection du travail en ce qui concerne l'interdiction de l'emploi de céruse et d'autres pigments blancs de plomb dans les peintures.' *Moniteur belge*, 5 novembre 1990, consulté le 22 juillet 2021 via ilo.org
- [31] IBGE - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 'Guide Bâtiment Durable, Dispositif : plomb', 30 novembre 2016.
- [32] C. Champmartin, 'Estimation du potentiel cancérigène des huiles minérales régénérées', *INRS - Hygiène et sécurité du travail*, vol. ND 2356-227-12, 2012.
- [33] IBGE - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement 'Les déchets dangereux sur le chantier', 25 mai 2018.
- [34] 'Graviers de toiture sur les étanchéités de toiture contenant des HAP', *PolluDoc.ch.*, consulté le 6 janvier 2021.
- [35] 'Traitement et élimination des câbles électriques usagés', *OFEV (Office fédéral de l'environnement), Confédération Suisse*, 1 octobre 2019. consulté via <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-abfall/abfall--fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/vollzugshilfe-ueber-den-verkehr-mit-sonderabfaellen-und-anderen-/umweltvertraegliche-entsorgung-von-sonderabfaellen-und->

- anderen-k/umweltvertraegliche-entsorgung-von-metallischen-abfaellen/aufbereitung-und-entsorgung-von-alkabel.html, le 8 janvier 2021.
- [36] 'WP 2. Assessment of contaminated buildings and structures, Task 2.3 Environmental impact assesment with focus on heavy metals', *European Commission ; Energy, environment and sustainable development*, projet IRMA (Integrated Decontamination and Rehabilitation of Buildings, Structures and Materials in Urban Renewal), mars 2005.
- [37] INERIS - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques 'Caractérisation des déchets : Le goudron dans les déchets du réseau routier - Etude bibliographique - méthodes de caractérisation rapides', p. 85, décembre 2001.
- [38] 'Directive 2001/90/CE de la Commission du 26 octobre 2001 portant septième adaptation au progrès technique (créosote) de l'annexe I de la directive 76/ 769/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses'. Journal officiel des Communautés européennes, consulté via eur-lex.europa.eu, le 20 janvier 2021.
- [39] CIRC - Centre International de Recherche sur le Cancer, 'Hydrocarbures aromatiques polycycliques et risque de cancer', consulté via cancer-environnement.fr, le 6 janvier 2021.
- [40] Regional Activity Center for Sustainable Consumption and Production (SCP/RAC), 'Compilation of PCB applications for owners and public officials'. UNEP, MAP, GEF, Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large ecosystem (MedPartnership), avril 2015.
- [41] L. Webster; L. Roose; P. Bersuder; M. Kotterman; M. Haarich; K. Vorkamp, 'Determination of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediment and biota', 2013, doi: 10.17895/ICES.PUB.5078.
- [42] INERIS - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 'Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Les polyChloroBiphenyles (PCB)', DRC-11-118962-11081A, 2011.
- [43] Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen (BIPRO), 'Up-dated Synthesis Report 2009, Annex I : Support related to the international and Community work on Persistent Organic Pollutants', European Commission, Brussels, Reference: 070307/2007/465073/MAR/D1, juillet 2008.
- [44] 'Health Concerns and Environmental Issues with PVC-Containing Building Materials in Green Buildings : Review of Current Practices and Trends in the Use, Recycling, and Disposal of PVC-Containing Building Materials', *California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Integrated Waste Management Board Public Affairs Office*, octobre 2006.
- [45] 'Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB', Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), direction des Substances Chimiques, Programme Inter-organisme pour la Gestion Rationnelle des Produits Chimiques (IOMC), août 1999.
- [46] IBGE - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 'Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général', no. Les données de l'IBGE : 'L'eau à Bruxelles', p. 16, 2005.
- [47] CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction, 'NIT 231 - Réparation et protection des ouvrages en béton - Note d'information technique', septembre 2007.
- [48] European Committee for Standardization, 'EN 206 "Concrete: Specification, Performance, Production and Conformity: Annex E.3 on Recycled Aggregates"', 2014.

- [49] C. Colman, D. Bulteel, S. Rémond, Z. Zhao, et L. Courard, 'Valorization of Fine Recycled Aggregates Contaminated with Gypsum Residues: Characterization and Evaluation of the Risk for Secondary Ettringite Formation', *Materials*, vol. 13, no. 21, p. 4866, novembre 2020, doi: 10.3390/ma13214866.
- [50] S. Delvoie, Z. Zhao, F. Michel, et L. Courard, 'Utilisation des sables et granulats recyclés dans le béton préfabriqué : comparaison des exigences réglementaires et techniques en Europe', *Conférence Internationale Francophone NoMaD 2018, Liege Université*, novembre 2018, consulté via <https://orbi.uliege.be/handle/2268/228451>, le 23 juillet 2021
- [51] 'Arrêté du 29 mars 2018 du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale déterminant les normes d'intervention et les normes d'assainissement (M.B. 02/05/2018)', *Moniteur belge*, 29 mars 2018.
- [52] S. Van de Voorde, I. Bertels, et I. Wouters, 'Matériaux de construction d'après-guerre dans l'habitation à Bruxelles 1945-1975", 2015.
- [53] A. Oberender - Teknologisk Institut (DK), 'Technical report – PFAS in new and existing building materials during renovation' (danois), The Danish Council for Green Transition, <https://rgo.dk/udgivelse/teknisk-rapport-pfas-i-nye-og-eksisterende-byggematerialer-ved-renovering-2/>, 3 septembre 2011
- [54] Environmental Coalition on Standards, 'Blueprint for an F-gas-free future: The EU's new F-Gas Regulation', https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2024/01/ECOS_240125_F-Gas_Factsheet_FINAL.pdf?utm, 24 janvier 2025
- [55] European Demolition Institute (EDI), 'How to decontaminate : Fluorinated Gases in Insulation Foams', <https://www.decontaminationinstitute.org/library/guide-fluorinated-gases-in-insulation-foams/>, mai 2025